

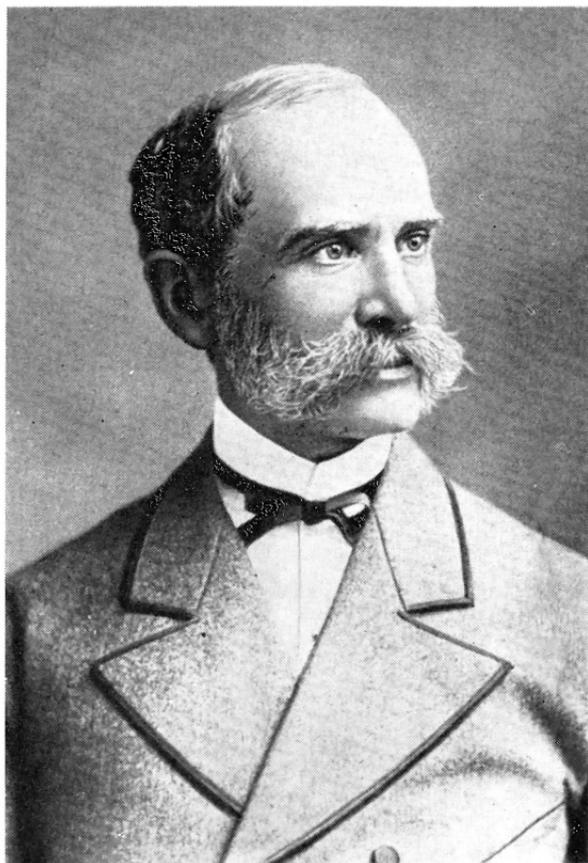
АКАДЕМИЯ НАУК СССР



В книге рассказывается о жизни, научной и практической деятельности академика А. В. Гадолина (1828 — 1892), генерала, крупного специалиста по артиллерийской технике и технологии производства артиллерийского вооружения. Рассматриваются его работы по теории упругости, теории проектирования артиллерийских орудий и кристаллографии. Наибольшее отражение получили его труды, написанные в период работы в Михайловской артиллерийской академии (ныне Военно-инженерная академия им. Ф. Э. Дзержинского)

Ответственный редактор

академик А. А. БЛАГОНРАВОВ



А. В. ГАДОЛИН

Э. К. ЛАРМАН

АКСЕЛЬ Вильгельмович
ГАДОЛИН



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА

1969

Р е д к о л л е г и я :

доктор техн. наук *Л. Д. Белькинд*, доктор биол. наук *Л. Я. Бляхер*,
доктор физ.-мат. наук *А. Т. Григорьян*,
доктор физ.-мат. наук *Я. Г. Дорфман*,
академик *Б. М. Кедров*, доктор экон. наук *Б. Г. Кузнецов*,
доктор биол. наук *А. И. Купцов*, доктор ист. наук *Д. В. Қэнобишин*,
доктор физ.-мат. наук *И. Б. Погребысский*,
канд. техн. наук *З. К. Новокшанова-Соколовская* (ученый секретарь),
доктор хим. наук *Ю. И. Соловьев*,
канд. техн. наук *А. С. Федоров* (зам. председателя),
канд. техн. наук *И. А. Федосеев*,
доктор хим. наук *Н. А. Фигуровский* (зам. председателя),
канд. техн. наук *А. А. Чеканов*, доктор техн. наук *С. В. Шухардин*,
академик *А. Л. Яншин* (председатель)

Предисловие

Аксель Вильгельмович Гадолин — крупный отечественный ученый второй половины XIX в. Его работы по кристаллографии и теории проектирования стволов артиллерийских орудий создали ему мировую известность. О его огромном научном авторитете свидетельствует, в частности, и то, что он состоял академиком Российской академии наук, почетным членом Михайловской артиллерийской академии, Московского университета, иностранным членом Королевской академии военных наук в Стокгольме, членом-корреспондентом Ньюйоркской академии наук и Академии естественных наук в Филадельфии, почетным членом Русского технического общества, Русского минералогического общества, Финляндского общества наук, членом-учредителем С.-Петербургского общества естествоиспытателей и членом целого ряда других ученых обществ.

Его работа «Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала», которая впервые была опубликована в 1868 г. в «Записках» Минералогического общества, по праву пользуется славой подлинно классического произведения в области кристаллографии и минералогии. Она получила широкую известность в науке и была включена в серию «Классики точных наук Оствальда» («Ostwald's Klassiker der exakten

Wissenschaften», № 75, 1897). В 1954 г. эта работа вышла в издании Академии наук СССР в серии «Классики науки».

А. В. Гадолин является также основоположником теории проектирования орудийных стволов. Некоторые выводы из его работ в этой области не потеряли своего практического значения и в настоящее время. В этих работах имеются теоретические разработки, которые способствовали развитию общей теории упругости и сопротивления материалов. Так, например, в одной из них Гадолин дал вывод формулы Лямэ для определения упругого сопротивления цилиндров, подвергающихся внутреннему давлению, и показал, что означенная формула дает возможность определить лишь наибольший предел допустимого внутреннего давления. Для определения наименьшего значения этого давления им впервые была выведена особая формула. Сам же способ вывода этих формул впоследствии был применен Клебшем в известном его сочинении «*Theorie des Elasticität Körper*» для вывода общих формул равновесия твердых тел.

Однако, несмотря на все это, заслуги А. В. Гадолина до сих пор еще не нашли должного отражения в литературе. В недавно вышедшем труде профессора С. П. Тимошенко по истории теории упругости и сопротивления материалов¹ имя А. В. Гадолина упоминается весьма скромно в подстрочных примечаниях редактора проф. А. Н. Митинского (стр. 187 и 422). Это объясняется, по-видимому, тем, что труды А. В. Гадолина в области проектирования артиллерийских орудий были опубликованы лишь в специальной литературе как у нас, так и за рубежом.

Настоящее издание имеет целью хотя бы отчасти восполнить этот пробел в истории отечественной науки и техники. В брошюре освещается педагогическая и научно-

¹ С. П. Тимошенко. История науки о сопротивлении материалов с краткими сведениями из истории теории упругости и теории сооружений. Под ред. А. Н. Митинского. М., 1957.

техническая деятельность и дается краткое изложение основных теоретических работ А. В. Гадолина в области артиллерийских наук. Как то, так и другое основано на изучении печатных трудов ученого и архивных материалов, которые автор собирал на протяжении целого ряда лет, занимаясь научно-исследовательскими работами в области проектирования артиллерийских орудий.

Поскольку работы А. В. Гадолина по кристаллографии и минералогии уже опубликованы и подробно рассмотрены в изданиях Академии наук СССР¹, в настоящей работе о них упоминается в том объеме, в каком это необходимо для полной оценки его научной деятельности.

Аксель Вильгельмович Гадолин, по национальности финн, нашел в России вторую родину. Здесь развивались его творческие способности.

Его деятельность протекала в тот исторический период, когда в России широко развернулась творческая деятельность таких всемирно известных русских ученых, инженеров и новаторов производства, как академик М. В. Остроградский, стоявший в центре математической мысли того времени, П. Н. Яблочков — изобретатель «русского света», И. А. Вышнеградский — автор теории автоматического регулирования и создатель научной школы проектирования машин, Н. П. Петров — основоположник теории гидродинамического трения в машинах, известные металлурги П. М. Обухов, А. С. Лавров и Н. В. Калакуцкий, основоположник баллистики нарезной артиллерии Н. В. Маиевский и целый ряд других. К этой же когорте русских ученых принадлежит и Аксель Вильгельмович Гадолин, основным вехам жизни и трудам которого посвящен этот краткий очерк.

¹ А. В. Г а д о л и н. Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала. Редакция и примечания О. М. Аншелеса, И. И. Шафрановского, В. А. Франк-Камеицкого. М., Изд-во АН СССР, 1954.

Автор считает своим долгом выразить благодарность академику Анатолию Аркадьевичу Благодправову за редактирование настоящей работы, а также заслуженному деятелю науки и техники, профессору, доктору технических наук Н. И. Безухову и профессору, доктору технических наук М. Ф. Самусенко, прочитавшим рукопись и сделавшим целый ряд весьма ценных указаний, учтенных при ее окончательной доработке.

Общий очерк жизни и деятельности

Юнкер Михайловского артиллерийского училища

Аксель Вильгельмович Гадолин родился 12 июня (по ст. стилю) 1828 г. в Финляндии¹. Первоначальное образование получил в Финляндском кадетском корпусе, который окончил в 1847 г.

При окончании корпуса Гадолин, имевший до этого звание фельдфебеля, был произведен в прапорщики лейб-гвардейского Павловского полка.

Еще находясь в корпусе, юноша проявлял интерес к наукам и поэтому с одновременным зачислением в полк был прикомандирован к Михайловскому артиллерийскому училищу для продолжения военного образования.

Михайловское артиллерийское училище было образовано в 1820 г. и являлось в России единственным учебным заведением, «которое доставляло Артиллерийскому корпусу отличных и сведущих офицеров». Училище состояло из юнкерских и офицерских классов. Первые давали первоначальное физико-математическое и артиллерийское образование, вторые — высшее. Офицерские классы в 1855 г. были преобразованы в Михайловскую артиллерийскую академию (ныне Военная инженерная академия имени Ф. Э. Дзержинского).

Так как Аксель Вильгельмович имел хорошую общую подготовку, он был принят в 1847 г. в старший офицерский класс этого училища.

Курс артиллерии в училище вели профессор Е. Х. Весель и его ученик О. П. Резвой. Профессор Анкудович

¹ По данным, приведенным в «Русском биографическом словаре», А. В. Гадолин «происходил из дворян великого княжества Финляндского».

читал лекции по баллистике. Он пользовался уважением воспитанников. «Скромный, всецело преданный науке, с обширными познаниями и громадным трудолюбием, он, хотя и не обладал даром изящного изложения своего предмета, но преподавал его полно, отчетливо и с редким терпением»¹.

Весьма фундаментально в училище была поставлена физико-математическая подготовка. А. В. Гадолин прилежно занимался математикой и физикой. Любовь к этим дисциплинам ему привили академики М. В. Остроградский, Э. Х. Ленц и профессор П. Л. Лавров. Все они были истинными наставниками А. В. Гадолина.

Академик М. В. Остроградский в 1841 г. был приглашен в училище для постановки преподавания высшей математики и теоретической механики. При изложении этих курсов Остроградский особенно заботился о строгости изложения, обращая внимание не на подробности и частные выводы, а на группировку основных законов и их правильное освещение и обобщение. Все это, вместе с большим авторитетом лектора, заставляло воспитанников училища с особым вниманием относиться к его предметам. Среди преподавателей училища академик Остроградский выделялся своими знаниями. Учащиеся любили его за простоту в обращении и ясный ум. Он требовал от них знаний по существу, а не по форме. Лекции он читал медленно, однако часто увлекался каким-либо вопросом, даже не входящим в программу, и вдохновенно излагал его на лекциях. Любил он также рассказывать своим слушателям различные исторические анекдоты из жизни великих полководцев, чаще всего из жизни Наполеона. Начальство никак не могло отучить Остроградского от посторонних разговоров на лекциях.

В результате ему часто не хватало времени для полного окончания курса. В этих случаях академик Остроградский передавал чтение курса преподавателю математики Петру Лавровичу Лаврову, который окончил офицерские классы училища в 1844 г. и по выбору Остроградского был оставлен репетитором, потом стал преподавателем, а после ухода академика из училища заменил его.

¹ А. С. Платов и Л. Л. Кирпичев. Исторический очерк образования и развития Артиллерийского училища (1820—1870 гг.). СПб., 1870.



*Здание Михайловской артиллерийской академии
во второй половине XIX в.*

Петр Лаврович Лавров в «Истории Коммунистической партии Советского Союза» упоминается как один из наиболее крупных идеологов революционного народничества второй половины XIX в. ¹ Он автор «русской марсельезы» — известной песни «Отречемся от старого мира!». Почти четверть века Петр Лаврович Лавров был преподавателем, а потом профессором математики в Михайловском артиллерийском училище и Михайловской артиллерийской академии.

Часть курса высшей математики Гадолин изучал под руководством П. Л. Лаврова. На лекциях Лавров излагал учебный материал очень уверенно, и, по отзывам воспитанников училища, каждая его лекция была интересна. Поскольку Лавров помимо математики интересовался вопросами философии, последние занимали в его лекциях определенное место. Обычно по окончании курса, а иногда и какого-либо раздела он прочитывал одну-две обзорные лек-

¹ «История Коммунистической партии Советского Союза», т. 1. Политиздат, 1964, стр. 50—52.

ции, обращая внимание слушателей на центральные вопросы, которые необходимо твердо усвоить. В этих лекциях он разъяснял значение математики для других наук, говорил своим слушателям, что чистая математика есть только средство для развития человеческих знаний, направленных к общественному благоустройству, однако средство действенное только тогда, когда его свойства, способы применения хорошо знакомы тому, кто их думает применять. Сообщая новое и интересное в науке, он стремился привить слушателям стремление к усовершенствованию своих знаний. Лекции Лаврова для юнкеров училища имели не только научное, но и воспитательное значение.

У Акселя Вильгельмовича сложилась с Петром Лавровичем долготлетняя дружба. Гадолин, по-видимому, симпатизировал общественно-политическим взглядам Лаврова, подтверждением чему может служить следующее. В 1862 г. после известных студенческих волнений студенческий комитет решил открыть публичные университетские курсы ¹. Для чтения лекций были приглашены Н. Г. Чернышевский, Берви и полковник П. Л. Лавров, который предложил в свою очередь пригласить для чтения курса по физике профессора Артиллерийской академии полковника Гадолина. Последний приглашение принял. Кроме того, как это видно из доклада генерал-аудитора от 5 (ст. ст.) января 1867 г. ² императору Александру II свидетельскими показаниями было установлено, что частыми гостями Лаврова были генерал Е. К. Баумгартен с супругой, Шишков, Гадолин и П. Л. Чебышев.

Преподавание физики в офицерских классах было возложено на академика Э. Х. Ленца, который поднял эту дисциплину до уровня, на котором она стояла в университетах того времени. С этой целью в младшем офицерском классе читались дополнительные лекции по электростатике, магнетизму и электродинамике, а в старшем — по теплоте и физической географии. Академик Ленц излагал свой предмет обширно и основательно и первым из преподавателей физики в училище начал применять высшую математику при выводах физических законов. Ленц обратил

¹ Л. П а н т е л е в. Из воспоминаний прошлого (П. Л. Лавров). — В кн.: «П. Л. Лавров. Статьи, воспоминания, материалы». Пг., 1922, стр. 422.

² ЦГВИА, Департамент аудиторский, ф. 504, оп. 32, д. № 2, стр. 42.



*Форма одежды юнкеров
Михайловского артиллерийского училища*

внимание на своего воспитанника Гадолина как на офицера, глубоко изучающего и любящего его науку. Именно он настоял, чтобы Гадолин по окончании училища в 1849 г. был назначен репетитором физики и физической географии училища. Репетитор-преподаватель совмещал обязанности ассистента, занимался научной работой и готовился к званию профессора. Академик Ленц сразу же доверил ему чтение курса физики в младших классах училища.

Аксель Вильгельмович Гадолин на всю жизнь сохранил любовь к физике и физической географии. Уже будучи известным ученым-артиллеристом, он любил совершать экскурсии и описывать родную природу. Поэтому не удивительно, что в перечне его научных трудов значатся такие, как «Геологическое описание острова Пусу», «Геологические наблюдения на побережье Ладожского озера», «Геологические очерки окрестностей Кроненбурга и Тервуса» и т. п.

Михайловское артиллерийское училище и Михайловская артиллерийская академия дали для отечественной артиллерии много всемирно известных ученых-артиллерис-

тов, среди которых имена Акселя Вильгельмовича Гадолина и его творческого соратника Николая Владимировича Маиевского занимают первые места. В связи с этим нельзя не упомянуть и таких воспитанников училища и академии, как заслуженные деятели науки и техники РСФСР Николай Федорович Дроздов, Иван Платонович Граве и Давид Евстафиевич Козловский, которые отдали много сил и все свои знания для становления нашей советской артиллерийской науки.

Для того чтобы полнее уяснить обстановку, в которой А. В. Гадолина вначале пришлось учиться, а впоследствии работать, надо отметить, что училище и академия с первых же дней своего существования были не только кузницей высококвалифицированных артиллерийских офицеров, но и рассадником революционных идей в армии. В истории училища отмечается, что в самом начале его формирования юнкерами было совершено несколько таких поступков, которые повлекли за собой телесное наказание виновных и исключение их из училища. В 1826 г. при внезапном посещении училища великим князем Михаилом Павловичем последний в офицерском общежитии обнаружил на столе прапорщика П. Бестужева открытую книгу «Полярная звезда». Многие чины, имеющие то или иное отношение к училищу, были наказаны, а «подполковник Затлер был арестован на гауптвахте и отрешен от должности командира училища». В архивных материалах училища и академии часто встречаются указания, что начальство вместе с третьим жандармским отделением искало корни «тайного зловердного влияния», чтобы «принять меры к устранению зла и предохранить юношей от угрожающей опасности». И в самом деле было о чем беспокоиться. В 1870 г. училище окончил Сергей Михайлович Степняк-Кравчинский, убивший 4 августа того же года ударом кинжала в грудь шефа жандармов генерала Мезенцева. Кравчинский всю жизнь поддерживал тесную связь с П. Л. Лавровым. В 1882 г. училище окончил активный участник военной организации «Народная Воля» Николай Данилович Похитонов, приговоренный по «процессу 14-ти» к смертной казни, замененной бессрочной каторгой, которую отбывал в Шлиссельбургской крепости, где сошел с ума и умер. К когорте народовольцев можно отнести Леонида Шишко, Дмитрия Рогачева, Михаила Рогачева и целый ряд других, отчисленных из училища за «зловредный образ мыслей».



М. В. ОСТРОГРАДСКИЙ

Подобному положению в училище и в академии способствовало то, что среди профессорско-преподавательского состава были лица, непосредственно принимавшие участие в революционном движении или сочувственно относящиеся к революционным идеям. К ним в первую очередь следует отнести П. Л. Лаврова, арестованного в 1866 г. по делу неудачного покушения Каракозова на Александра I и высланного в захолустный город Тотьму Вологодской губернии, а оттуда бежавшего за границу. В эту среду революционеров следует включить также публициста-народника Батищева, профессора химии училища и академии А. Н. Энгельгардта, в 1871 г. высланного из Петербурга в свое смоленское имение, где он создал образцовое хозяйство, которое в 70-х годах сделалось местом паломничества народнической интеллигенции. Вследствие всего

этого в Михайловском артиллерийском училище и Михайловской артиллерийской академии юнкера и офицеры получали не только глубокие познания по артиллерийским наукам, но и первоначальные сведения о революции.

Учебно-педагогическая деятельность

С момента назначения на должность репетитора Михайловского артиллерийского училища начинается период плодотворной творческой деятельности А. В. Гадолина, которая носит тройкий характер: педагогический, научно-технический и административно-технический. Характерно, что все эти три вида деятельности перемежаются во времени или проходят параллельно и плодотворно влияют один на другой.

Учебно-педагогическая деятельность его связана преимущественно со службой в Михайловском артиллерийском училище и в Михайловской артиллерийской академии.

Положение репетитора в училище было очень неопределенным: на него возлагалась обязанность репетировать с юнкерами все предметы без исключения и, кроме того, требовалось, чтобы сам репетитор специализировался в какой-либо отрасли знаний. В начале своей педагогической карьеры Аксель Вильгельмович занялся основательным изучением физики и химии, имеющих обширные приложения в артиллерии. В этих науках в сравнительно короткий промежуток времени он приобрел такие солидные и основательные знания, что стал незаурядным специалистом. В 1858 г. училищу была подарена гальваническая батарея из 800 бунзеновских пар, что для того времени было богатым лабораторным оборудованием. При помощи этой батареи производились опыты по изучению различных явлений гальванизма. Гадолин за участие в этих опытах заслужил благодарность в приказе по военно-учебным заведениям.

Аксель Вильгельмович отличался скромностью и ревностным отношением к поручаемой работе, о чем свидетельствует следующий случай, изложенный в свидетельстве за № 562, приложенном к приказу № 2148 по военно-учебным заведениям от 5 октября 1855 г., текст которого гласит:

«Дано сие состоявшему в прикомандировании при Свеаборгском артиллерийском гарнизоне для исполнения слу-



П. Л. ЛАВРОВ

жебных обязанностей по случаю военных обстоятельств ¹ лейб-гвардии 1-й Артиллерийской бригады штабс-капитану Гадолину в том, что он вместе с командированными при нем для практических занятий, состоящими по артиллерии прапорщиками: Якубовичем, Костичем, Корсаковым, Петерсом, Щетиным, Зиновьевым, Бестужевым-Рюминым, Энгельгардтом, Потоцким, Глинкою, Ходоровским, л.-гв. Гренадерского полка прапорщиком Горчаковым, л.-гв. Егерского полка прапорщиком Штуббендорфом, л.-гв. Измайловского полка прапорщиком Любовицким, л.-гв. Московского полка прапорщиком Кугаевым, 8-ой полевой артиллерийской бригады прапорщиком Арбабовым, л.-гв. Павловского полка прапорщиком Руковым и л.-гв. Драгунского полка прапорщиком Заданским во все время нахождения в кре-

¹ А. В. Гадолин в Свеаборгской крепости проводил практические занятия с офицерами — слушателями офицерских классов училищ.

пости Свеаборге возложенные на них обязанности выполняли с особой деятельностью и усердием. При открытии же англо-французским флотом бомбардирования крепости Свеаборга 28 и 29 июля действовали против неприятеля неустрасливо, как старые артиллеристы, мужественно и хладнокровно, а когда загорелся пороховой погреб капо-нира «Капот» в Густавсвердском укреплении, по вызову моему охотников к потушению гв. штабс-капитан Гадолин и прапорщики Любовицкий и Зиновьев первые бросились туда и исполнили таковое поручение с необыкновенной скоростью и самоотвержением.

*Комендант Свеаборгской крепости
генерал-лейтенант Сорокин».*

Только из-за своей скромности Аксель Вильгельмович был награжден за этот поступок орденом лишь спустя 16 лет — в 1871 г., будучи уже генерал-майором (об этом свидетельствует рапорт начальника Главного артиллерийского управления военному министру от 13 января 1871 г., № 983).

В 1856 г. Гадолин был назначен заведующим Техническим артиллерийским училищем, которое подготовляло технических мастеров для артиллерийских заведений, имеющих мастерские и ценное артиллерийское имущество. Для практической подготовки учеников по столярному, кузнечному, слесарному и токарному мастерству при училище были созданы хорошо оборудованные мастерские. В них ученики школы, приобретая навыки по различным ремеслам, с большим искусством изготовляли действующие модели орудий русской, а также и иностранной (французской, прусской и английской) артиллерии различных эпох¹.

В 1856 г. полковник А. В. Гадолин был назначен инспектором классов (начальником учебной части) Михайловской артиллерийской академии и в этой должности состоял до 1867 г. В период 1861—1862 гг. в академии обсуждался вопрос об образовании двух факультетов: строевого и технического. Реорганизация академии, распределение учебного времени, подготовка новых курсов потребовали

¹ В настоящее время коллекции этих моделей хранятся в фондах Артиллерийского исторического музея и частично в Военно-инженерной академии им. Ф. Э. Дзержинского в Москве.

от инспектора классов затраты большого количества времени на административную и организационную работу, но, несмотря на это, Гадолин никогда не прекращал своей педагогической деятельности. В это время им было составлено прекрасное руководство по теплороду, представлявшее первый учебник в России, в котором излагались знаменитые опыты Ренью.

Технический отдел в академии просуществовал недолго (было два выпуска — в 1864 и 1865 гг.), но правильно и надежно поставленные при нем курсы трех специальных артиллерийских наук: баллистики, артиллерийской технологии и практической механики — продолжали развиваться при новой реорганизации академии, проводившейся ее начальником генералом Крыжановским, который придавал особое значение технической подготовке артиллерийских офицеров. Он оценил дарование и способности молодого преподавателя и настоял, чтобы А. В. Гадолин принял вновь учрежденную кафедру технологии. Аксель Вильгельмович согласился, и именно ему принадлежит заслуга правильной постановки курса технологии в академии. Он первый раз сам прочитал весь теоретический курс этой дисциплины и составил «Записки» по всем его разделам. Курс технологии был построен таким образом, что все, не имевшее чисто специального характера, было сведено в раздел общей технологии. Специально артиллерийские вопросы рассматривались в отдельных главах.

«Записки» по технологии дерева, лично составленные А. В. Гадолиным, представляли первый на русском языке полный курс по обработке дерева. В этом труде излагались законы образования древесины, рассматривались ее пороки и целый ряд других вопросов, связанных с обработкой дерева. Между прочим, в этом же учебнике был весьма талантливо изложен закон действия режущих инструментов и правила их устройства.

В курсе металлургии чугуна, железа и меди в отдельный раздел были выделены вопросы о горючих материалах, устройстве печей и воздуходувных машинах. Помимо теоретической подготовки все офицеры, обучавшиеся в академии, проходили практические занятия на тогдашних Олонецких заводах, в С.-Петербургском арсенале и на заводе в Колпине (ныне Ижорский завод). На этих занятиях каждому слушателю академии поручалось самому отформовать и отлить какую-нибудь деталь.

Вопросы пороходелия в то время составляли отдельную отрасль артиллерийской технологии. Гадолин лично составил оригинальное руководство по пороходелию, в котором наряду с теоретическими основаниями производства были описаны существующие способы производства пороха и дан сравнительный анализ пороходелия в разных государствах Европы. Верный своему взгляду, что теория всегда должна идти в ногу с практикой, он организовал практические занятия по курсу пороходелия на Охтенском пороховом заводе.

Аксель Вильгельмович был горячим сторонником проведения большого химического практикума и в этом нашел поддержку преподавателя химии Л. Н. Шишкова. Совместно с ним ему удалось прекрасно оборудовать химическую лабораторию и образцово поставить изучение неорганической и органической химии в Артиллерийской академии.

В курс физики с 1865 г. Гадолин ввел раздел кристаллографии. Эта учебная дисциплина в академии считалась необходимой для основательного изучения не только физики и химии, но и горных наук, изучение которых диктовалось необходимостью готовить специалистов, знакомых с процессами добывания руд и изготовления металла (чугун, сталь и медь).

Введение этого раздела в курс физики потребовало от Акселя Вильгельмовича серьезных занятий по кристаллографии. В результате этих занятий он подготовил не только записки читаемого им раздела кристаллографии, но также солидный научный труд «Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала».

Не вдаваясь в подробный разбор этой работы, приведем некоторые выдержки из ряда отзывов крупных отечественных специалистов об этой работе.

«Как автор «Вывода всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала», — писал академик В. С. Федоров, — А. В. Гадолин приобрел бессмертное имя; выведенные им 32 симметрии в кристаллах легли в основу всего современного учения по теоретической кристаллографии, их будут учить наши правнуки и праправнуки. Нет нужды, что в настоящую минуту есть еще немало минералогов, не успевших понять и освоиться со значением этого вывода, и что вообще вывод этот поль-

зается еще довольно малой известностью. Со времени его опубликования минуло четверть века относительной косности, но теперь эта косность доживает последние свои минуты...

Гадолин положил в основание своего вывода закон рациональности отношений параметров.

Это — закон, находящийся в полном соответствии со всеми опытными данными и, что самое главное, получивший всеобщее признание. Вот почему всякие выводы, которые с полной строгостью могут быть из него получены, невольно возбуждают полное и безусловное доверие...

Из бесконечного множества геометрически возможных видов симметрии, кристаллографически возможных видов симметрии кристаллографическое значение имеют только те 32 вида, элементы которых состоят из двойных четвертных и шестерных осей сложной симметрии. Первое исчерпывающее изложение этого предмета и составляет истинную и главную заслугу покойного Гадолина¹.

Академик В. И. Вернадский в статье, посвященной памяти академиков Н. И. Кашкарова и А. В. Гадолина, пишет: «Изучая свойства кристаллографических многогранников, Гадолин подметил общие принципы деления этих многогранников на классы по явлениям симметрии, какие наблюдаются в этих многогранниках по отношению к определенным линиям, точкам, плоскостям пространства. Он нашел этим путем общие положения симметрии и вывел, что возможны 32 определенных класса многогранников; из явлений симметрии он вычислил и все свойства этих многогранников... С тех пор наблюдались еще некоторые новые формы, и все кристаллы распадаются на 24—28 групп, которые все совпадают с 32 группами, вычисленными Гадолиным; здесь, следовательно, возможно предсказание. Но значение этого деления гораздо более глубокое. Гадолину удалось принять такие общие признаки, которые являются самыми отвлеченными и сохраняют все свое значение, когда мы от геометрических форм перейдем к изучению любых физических свойств кристаллов, будут ли то свойства световые, тепловые или какие-либо иные.

¹ В. С. Федоров. Некролог и список сочинений А. В. Гадолина. — «Известия Геологического комитета», 1893, стр. 1. См. также: А. В. Гадолин. Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала, стр. 135.

От изучения общих принципов геометрии наружных форм Гадолин поднялся до теории внутреннего строения кристаллических средин — того внутреннего строения, которое проявляется там в правильностях физических свойств...»¹

Работы по кристаллографии создали научный авторитет А. В. Гадолину не только в России, но и за рубежом и послужили основанием для избрания его в 1875 г. действительным членом Академии наук в Петербурге.

Заканчивая краткий обзор его педагогической деятельности, следует отметить, что большое уважение к заслугам А. В. Гадолина как воспитателя целого поколения русских артиллеристов выразилось в праздновании в 1886 г. двадцатипятилетия его профессорской деятельности, которое состоялось в конференц-зале Михайловской академии. В тот же день он был назначен почетным членом Михайловской артиллерийской академии.

Службу в звании профессора Артиллерийской академии в соответствии с положением о сроке профессорской деятельности Гадолин оставил в 1890 г., т. е. всего за два года до смерти.

Работа в Артиллерийском комитете

Основная научно-техническая деятельность Гадолина начинается в Артиллерийском комитете почти с первых лет служебной карьеры, а именно с 1859 г., когда он был назначен совещательным членом комиссии по литейной части и железоковательным заводам этого комитета. Через год он получает назначение членом комиссии по машинной части.

В период его деятельности в Артиллерийском комитете, продолжавшийся в общей сложности 33 года, в русской артиллерии в результате уроков Крымской кампании были осуществлены важные усовершенствования материальной части. Основными из них являлись: создание нарезных орудий, заряжаемых с казны, широкое применение стали взамен чугуна и бронзы, появление скорострельных орудий и различные усовершенствования в пороховом производстве, включая применение бездымного пороха и различных взрывчатых веществ и составов в артиллерии.

¹ В. И. В е р н а д с к и й. Памяти Н. И. Кашкарова и А. В. Гадолина.— «Bull. Soc. nat. Moscou», 1892, т. 6, № 4, р. 506.

Решение каждого из этих вопросов было связано с необходимостью детальной разработки множества частных научно-технических вопросов. Можно без преувеличения сказать, что именно в этот период артиллерийская наука царской России достигла наивысшего расцвета и деятельность Артиллерийского комитета была наиболее плодотворной.

Для того чтобы показать роль Акселя Вильгельмовича Гадолина, нельзя не вспомнить ту славную плеяду русских артиллеристов, с которыми он многие годы работал над разработкой и внедрением в русскую армию первоклассных нарезных, с казны заряжаемых артиллерийских орудий. Первым среди них следует отметить генерала Алексея Васильевича Дядина, в 1847 г. назначенного председателем артиллерийского отделения Военно-ученого комитета, которое по его проекту в 1859 г. было преобразовано в самостоятельное учреждение — Артиллерийский комитет. Не останавливаясь подробно на деятельности Дядина, следует все же отметить, что этот артиллерист отдал много сил для развития русской артиллерии. Это был подлинный энтузиаст своего дела, который делил все свое время между многочисленными служебными заседаниями и пребыванием на Волковом поле — артиллерийском полигоне под Петербургом, где участвовал в проведении самых разнообразных испытаний артиллерийских орудий.

Генерал Э. И. Тотлебен, известный защитник Севастополя, в шутку говорил о Дядине, что ему «дневной квартирой стал комитет, загородным гуляньем — Волково поле»¹. Роль, которую играл Дядин, руководя развитием русской артиллерии, была настолько велика, что в 1861 г., когда отмечался юбилей его службы в офицерских чинах, была установлена специальная премия его имени. Премия присуждалась за выдающиеся исследования в области артиллерийской науки и за создание новых образцов материальной части артиллерии.

Помимо всего прочего А. В. Дядин умел выявлять способных молодых артиллеристов и привлекал их для работы в Артиллерийском комитете. Он, например, сразу

¹ К. Ш в а р ц. Юбилей председателя Временного артиллерийского комитета генерала от артиллерии Дядина. 26. XII 1861 г. — „Артиллерийский журнал“, 1862, № 2.

увидел в молодом Н. В. Маиевском артиллериста не только всесторонне образованного, но и способного разрешать сложные специальные вопросы. Николай Владимирович Маиевский оправдал эти надежды. Он стал создателем баллистики нарезных орудий и первым их конструктором. 17 октября 1870 г. Ученый совет Московского университета присудил Н. В. Маиевскому ученую степень доктора прикладной математики. В отзыве о нем профессора Н. В. Бугаева говорилось:

«Для развития баллистики, основной артиллерийской науки, необходима обширная математическая подготовка. Вычислить полет продолговатого снаряда, принимая в соображение сопротивление воздуха и вращательное движение снаряда в зависимости от его веса, заряда и угла наклона орудия, сделалось особенно затруднительным. Между тем эти затруднения так или иначе необходимо преодолеть для составления правильных таблиц стрельбы. Современная артиллерийская практика требует от этих таблиц большой точности. Эти требования и новейшие усовершенствования превратили баллистику в сложную физико-математическую науку... Русская наука в лице своих ученых-артиллеристов стремилась постоянно встать в уровень с этими высокими требованиями. В числе этих ученых самое видное место занимает генерал-майор Николай Владимирович Маиевский...»

Спустя 8 лет (24 октября 1878 г.) академики П. Л. Чебышев, В. Я. Буняковский и О. В. Струве представили Н. В. Маиевского в члены-корреспонденты Петербургской академии наук, а 7 ноября того же года он был избран по специальности математических наук¹.

Точно так же А. В. Дядин увидел незаурядные способности А. В. Гадолина как знатока физики и артиллерийской технологии и привлек его для работы в Артиллерийском комитете, где Гадолин в основном руководил разработкой теории проектирования и вопросов артиллерийской технологии. Но без преувеличения можно сказать, что не было ни одного более или менее серьезного мероприятия в области артиллерийского вооружения, с которым бы ни соприкасался Аксель Вильгельмович.

¹ Архив Академии наук СССР, протоколы заседаний физико-математического отделения, ф. 2, оп. 17, № 7.



Н. В. МАИЕВСКИЙ

Решение новых артиллерийских проблем требовало значительного объема математических знаний. Поэтому в период работы в комитете Н. В. Маиевского и А. В. Гадолина для обучения артиллерийских офицеров в него были привлечены известные в то время математики академики П. Л. Чебышев, М. В. Остроградский и проф. И. А. Вышнеградский.

Блестящие научные труды Маиевского и Гадолина были созданы под влиянием этих корифеев математической науки и механики.

П. Л. Чебышев поставил развитие артиллерийской науки в России на прочный математический фундамент. Комитет следующим образом характеризовал его деятельность.

«... Чебышев, во-первых, принял на себя руководство всеми теми артиллерийскими офицерами как в комитете,

так и вне комитета, которые занимаются математическими артиллерийскими работами: всякое встречаемое ими сомнение господином Чебышевым разъясняется, всякое затруднение устраняется. Как пример здесь можно указать на содействие его по предмету приложения теории вероятностей к артиллерийской стрельбе, приложения, которое в последнее время дало полезнейшие результаты, а также на пояснение вопросов, относящихся к теории вращательного движения, теории совершенно новой в артиллерии, столь трудной и столь для артиллерии теперь необходимой»¹.

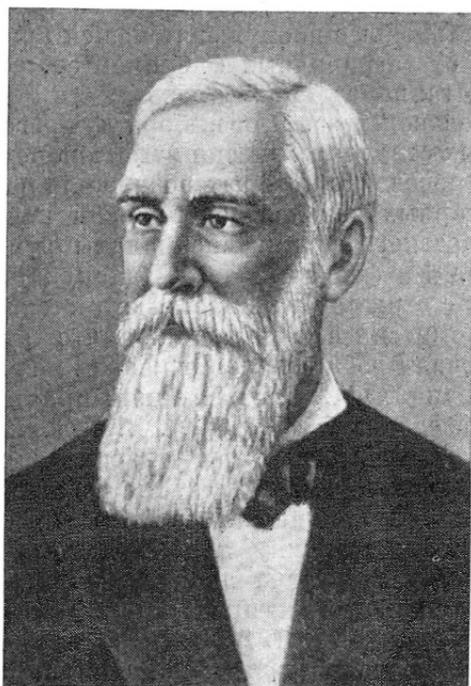
Профессор И. А. Вышнеградский обладал глубокими знаниями в области математики, теоретической и прикладной механики. Хорошее знание артиллерийских дисциплин позволяло ему использовать общетеоретические положения для решения артиллерийских проблем.

Можно продолжить перечень имен талантливых ученых и артиллеристов второй половины XIX в., которые работали вместе с Маиевским и Гадолиным в области новой техники для русской артиллерии и сделали ее первоклассной. Следует назвать П. М. Альбицкого, Л. Л. Кирпичева, В. А. Пашкевича, Н. А. Забудского, Н. В. Калауцкого, В. Н. Шкляревича, А. Я. Минута, Е. Х. Веселя, А. Ф. Ферсмана, П. А. Ильенкова и целый ряд имен других деятелей, которые хотя и не имели высоких ученых званий, но являлись известными специалистами.

Ведущее место среди них принадлежит Николаю Владимировичу Маиевскому и Акселю Вильгельмовичу Гадолину. «Нельзя не отметить того факта, — писал в конце прошлого века А. Якимович, — что два выдающихся деятеля Артиллерийского комитета Н. В. Маиевский и А. В. Гадолин все время их совместной службы отличались редкой по постоянству дружбой и самым искренним уважением. Союз этих двух представителей науки и знания, их совместная энергичная и дружная работа, являясь лучшим выражением артиллерийских заветных традиций, безошибочно вели русскую артиллерию по пути прогресса и создали ей настоящее передовое и блестящее положение»².

¹ Архив Артиллерийского исторического музея (ААИМ), фонд Военно-ученого комитета, 1857—1864, оп. 40, д. 390.

² А. Я к и м о в и ч. Генерал от артиллерии Аксель Вильгельмович Гадолин. СПб., 1894.



П. Л. ЧЕБЫШЕВ

Работая в комитете, Гадолин сам возглавлял ряд комиссий по вопросам артиллерийской науки и техники или принимал в их работе непосредственное участие.

Чтобы перевооружение русской артиллерии сделать независимым от заграницы, прежде всего было необходимо: развить в России производство ствольной стали. В связи с этим в 1869 г. под председательством А. В. Гадолина при Главном артиллерийском управлении была учреждена специальная комиссия по вопросам производства ствольной стали. Она в значительной мере способствовала развитию идей и работ металловеда Н. В. Калакуцкого. Им в эту комиссию была подана докладная записка «О развитии сталелитейного производства на Ижевском заводе».

В марте 1869 г. комиссия обсуждала ее, а также и другие предложения Калакуцкого и пришла к заключе-

нию, что отсутствие производства ствольной стали «может поставить дальнейшее вооружение нашей армии в полную зависимость от заграничных фабрикантов, если не будут приняты меры к немедленному развитию в России сталествольного производства». Для выбора лучшего сорта стали для ружейных стволов комиссия наметила целую программу опытов, проведение которых возложила на приемщика уральских горных заводов «артиллерии капитана Калакуцкого, известного своими специальными по этой части познаниями». 14 февраля Н. В. Калакуцкий прибыл в Петербург, и с этих пор начинается его плодотворная деятельность. Комиссия признала также, что «существующая у нас пороховая проба стволов основана на недостаточно точных основаниях». Своим решением, принятым 11 июня 1871 г. на заседании в составе А. В. Гадолина, генерала Чагина и П. Л. Чебышева, она утвердила предложенную Калакуцким пороховую пробу и дала работе Калакуцкого лестный отзыв. В дальнейшем работы Калакуцкого находили полную поддержку А. В. Гадолина. 23 декабря 1878 г. комиссия в составе академиков П. Л. Чебышева и А. В. Гадолина, тогда еще проф. Н. В. Маиевского, генералов А. Ф. Ферсмана и Н. А. Беляева, полковника Л. Л. Кирпичева единогласно присудила Николаю Вениаминовичу Калакуцкому очередную артиллерийскую премию за 1873—1878 гг. О высокой оценке А. В. Гадолиным заслуг И. В. Калакуцкого свидетельствует, например, отзыв, в котором говорится: «Генерал-майор Калакуцкий был работником усердный и неутомимый; масса труда, им исполненного, огромна, и труд этот имел решительное влияние на снабжение артиллерии доброкачественными пушками и ружейными стволами русского приготовления»¹.

В 1869 г. комиссия в составе А. В. Гадолина, И. А. Вышнеградского, Н. В. Калакуцкого, А. С. Лаврова и др. рассматривала практические результаты опытов молодого инженера Дмитрия Константиновича Чернова и установила, что разработанная им термическая обработка стальных орудийных труб существенно повысила их прочность. После этого предложения Д. К. Чернова начали применяться на практике и принесли громадную пользу развитию не только сталелитейного производства, но и новой науки — металлловедения.

¹ «Артиллерийский журнал», 1889, № 12, стр. 11.

Из сказанного видно, что деятельность Гадолина в Артиллерийском комитете благотворно влияла на развитие отечественного сталелитейного производства.

В период работы в Артиллерийском комитете он принял также деятельное участие во временной комиссии по перевооружению русской армии, созданной при Главном артиллерийском управлении в марте 1869 г.

Переходя к его научной деятельности, следует отметить, что она была всецело связана с потребностями практики и направлена на решение тех задач, которые вставали перед ним в учебно-педагогической и административно-технической деятельности. Остановимся преимущественно на тех его научных работах, которые имели практическое значение для артиллерии.

Первая подобная работа относится к 1857 г. Она состояла в определении особым прибором сопротивления некоторых сплавов сдвигу с целью нахождения наилучшего из них для выступов на снарядах. В это время на вооружение армии стали поступать нарезные орудия, заряжаемые с дула. Соответствующее устройство выступов на снарядах имело существенное значение для правильного движения их в канале ствола.

Две последующие работы («О сопротивлении стен орудия давлению пороховых газов» и «Теория орудий, скрепленных обручами»), составляющие вместе взятые классический труд, положили начало научной теории проектирования орудийных стволов.

Ниже они будут рассмотрены более подробно. Здесь же только отметим, что за первую из них автор получил малую Михайловскую премию в 1865 г., а за вторую — большую Михайловскую премию в 1866 г.

Важное значение для проектирования артиллерийских орудий имела работа «О сопротивлении орудий отрыванию казенной части при употреблении для запираания казны механизма Трель де Болье». За нее в 1890 г. автору была присуждена премия генерала Дядина. Эта работа также будет рассмотрена ниже подробнее.

Аксель Вильгельмович выполнил еще ряд других научных работ по различным вопросам проектирования и технологии производства артиллерийских орудий. Список его сочинений с краткой аннотацией некоторых из них приведен в конце книги.

Инспектор местных арсеналов

Во второй половине XIX в. основными изготовителями и поставщиками новой материальной части артиллерии являлись местные арсеналы и казенные заводы. Оборудование и организация производства на этих предприятиях стояли на низком уровне, вследствие чего они были не в состоянии решать задачи изготовления новых усовершенствованных образцов артиллерийского вооружения. Для приведения их в надлежащее состояние в 1867 г. инспектором местных арсеналов был назначен А. В. Гадолин. В течение 15 лет он неустанно и энергично работал над развитием и совершенствованием производственной деятельности этих предприятий артиллерийского ведомства.

Сознавая, что казенные заводы в большинстве случаев не могут конкурировать с частными предприятиями, Гадолин тем не менее добивался, чтобы изготавливаемые ими предметы отличались высокой доброкачественностью и безукоризненной точностью отделки и были вполне надежными. «Вера артиллеристов в надежность и полную безопасность данной им материальной части, — говорил он, — есть необходимые условия и основание, гарантирующие боевой успех». Этими соображениями он руководствовался как член Артиллерийского комитета и инспектор арсеналов при снабжении последних техническим оборудованием и при разработке требований приемки материальной части артиллерии вообще.

Первым его организационным мероприятием была замена мастеровых из солдат вольнонаемными рабочими. Это мероприятие сразу привело к повышению производительности труда и к снижению себестоимости изделий. Так, например, труд мастера-военнослужащего обходился почти втрое дороже, чем вольнонаемного рабочего. Известно, что характер деятельности и производительность каждого производственного заведения помимо технической оснащенности зависит от квалификации рабочих и от уровня знаний их руководителей. Поэтому вновь назначенный инспектор арсеналов обратил особое внимание на рациональную подготовку будущих артиллеристов-техников в Артиллерийской академии и как ее профессор всеми средствами привлекал воспитанников академии к деятельности в арсеналах.

До вступления его в должность инспектора механические средства арсеналов были крайне скудны. Так, например, на Брянском арсенале единственное механическое устройство состояло из конного привода, который обеспечивал действие двух станков для обточки орудийных стволов и двух токарных станков.

За время своей деятельности Гадолин существенно улучшил техническое оснащение арсеналов, сделав их примерными производственными заведениями русской артиллерии. Им были проведены, в частности, следующие мероприятия:

1. В период принятия на вооружение орудий, заряжаемых с казенной части, была устроена отдельная орудийная мастерская (позднее — орудийный завод), приспособленная для отделки всех клиновых механизмов, а также орудий до девятидюймового калибра включительно.

2. Для увеличения числа изготавливаемых орудийных колес были устроены специальные сушильни для древесины и заведено множество новых специальных машин для обработки дерева, в особенности в С.-Петербургском арсенале (изготовление деревянных колес для артиллерийских орудий в то время было важным, но трудоемким видом артиллерийского производства вообще).

3. С целью увеличения производительности кузнечных мастерских древесный уголь, применявшийся для нагрева поковок, был заменен каменным, было усовершенствовано дутье, введены паровые молоты, штампы и много других приспособлений. Все это не только существенно повысило производительность кузнечных мастерских, но и облегчило труд кузнецов.

4. В слесарных мастерских были организованы новые отделы для изготовления коробов, вкладных ящиков и передков. Все эти отделы были снабжены новыми машинами и станками, специально приспособленными для вышеуказанной цели.

5. Арсеналы и орудийная мастерская были снабжены паровыми машинами для приведения в действие всех рабочих станков.

В результате осуществления этих мероприятий русские артиллеристы получали хорошо изготовленные и надежные в действии артиллерийские орудия, и в этом была немалая заслуга инспектора арсеналов Акселя Вильгельмовича Гадолина.

Участие в Русском техническом обществе

Русское техническое общество было основано 24 мая (по ст. ст.) 1866 г. В его организации и руководстве им принимали участие многие замечательные русские ученые и инженеры: Н. А. Беляев, И. А. Вышнеградский, А. В. Гадолин, Д. И. Журавский, С. В. Кербедз, А. Н. Ладыгин, Д. И. Менделеев, Д. К. Чернов, В. Н. Чиколев, П. Н. Яблочков и др. Его первым председателем стал известный инженер путей сообщения Андрей Иванович Дельвиг, двоюродный брат поэта — друга А. С. Пушкина. Деятельность общества носила в то время прогрессивный характер.

Гадолин выполнял в нем обязанности заведующего механическим отделом. Через это общество он оказал, в частности, большую помощь отечественному ученому и талантливому инженеру Николаю Павловичу Петрову — основоположнику теории гидродинамического трения в машинах.

В январе 1884 г. неизвестным лицом через Гадолина Русскому техническому обществу было пожертвовано 5000 рублей на производство поисков полезных ископаемых для русской техники. На заседании механического отдела общества Н. П. Петров внес предложение об использовании этих средств на организацию исследований по определению коэффициента трения различных смазочных масел. Это предложение встретило энергичную поддержку А. В. Гадолина, который обратил внимание членов отдела на то, что минеральные масла в России производятся в большом количестве и что в скором времени Россия будет ими снабжать всю Европу. Поэтому он считал желательным способствовать дальнейшему развитию этого дела и дать ему твердую опору.

Для руководства опытами была создана специальная комиссия под председательством А. В. Гадолина из членов общества И. А. Вышнеградского, В. Л. Кирпичева, Н. П. Петрова и других. Опыты проводились главным образом по программе, предложенной Н. П. Петровым, и дали ему необходимый материал для разработки теории гидродинамического трения в машинах.

Известный профессор физики К. Д. Краевич выступал в то время с целым рядом критических замечаний в отношении теории Петрова. Но новую теорию поддержал ака-

демик Гадолин, который писал, что опытами иностранных исследователей была доказана неприменимость законов Кулона для «сухого трения». Создание же новой теории оказалось им не под силу, так как в этих опытах был упущен какой-то «неизвестный элемент», имеющий важное влияние на законы трения. Этот элемент был открыт Н. П. Петровым в его теории гидродинамического трения в машинах.

16 апреля 1911 г. на торжественном заседании в Военно-инженерной академии в связи с сорокалетием научной деятельности Н. П. Петрова последний в заключительном слове с большой благодарностью отозвался о замечательных отечественных ученых, оказавших ему большую поддержку в начале его творческого пути. Среди других ученых Николай Павлович назвал и академика Гадолина.

В период работы в Русском техническом обществе А. В. Гадолин принимал участие в составлении первого технического французско-русско-немецко-английского словаря.

* * *

Как видно из этого краткого обзора, А. В. Гадолин был талантливым педагогом, активным участником проведения многих прогрессивных мероприятий в области отечественной артиллерии, а также крупным ученым, внесшим значительный вклад в развитие целого ряда наук. Он активно сотрудничал со многими выдающимися учеными своего времени и поддерживал молодых и талантливых ученых, инженеров и техников, которые начинали свою служебную карьеру под его руководством.

Аксель Вильгельмович Гадолин умер 15 декабря 1892 г. Тело его было похоронено в Финляндии в городе Гельсингфорсе.

Научное наследие

Труды по разработке теории проектирования нескрепленных орудийных стволов

В 1858 г. в «Артиллерийском журнале» (№ III) впервые была опубликована статья А. В. Гадолина «О сопротивлении стен орудия давлению пороховых газов» — первая из серии написанных им статей по вопросу разработки теоретических оснований проектирования орудийных стволов. В одной из своих работ Гадолин отмечал, что теоретические труды в этой области должны быть понятными возможно большему кругу артиллеристов. С этой целью все свои статьи он сопровождал изложением вопросов общей теории упругости и весьма обстоятельным и доходчивым пояснением, как следует применять основные уравнения этой теории для решения конкретной инженерной задачи — расчета прочности нескрепленных и скрепленных орудийных стволов. Хотя необходимые общие положения теории

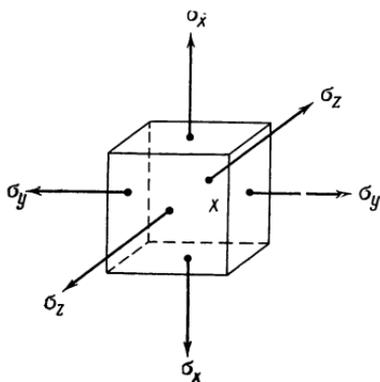


Рис. 1

упругости и сопротивления материалов в то время уже были разработаны, необходимость их изложения и уточнения диктовалась тем, что автор впервые в мировой артиллерийской практике предлагал применять их для решения совершенно новой инженерной задачи.

Свою первую статью А. В. Гадолин начинал с общих рассуждений об упругом равновесии твердого

тела. (В настоящее время эти положения общеизвестны и поэтому ниже не приводятся.) В заключение этих рассуждений он приводит выражения для нормальных напряжений на гранях параллелепипеда (рис. 1) в зависимости от соответствующих деформаций¹:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{\mu(3-\mu)} \left[(1+\mu) \frac{u}{x} + (1-\mu) \frac{v}{y} + (1-\mu) \frac{w}{z} \right] \\ \sigma_y &= \frac{E}{\mu(3-\mu)} \left[(1-\mu) \frac{u}{x} + (1+\mu) \frac{v}{y} + (1-\mu) \frac{w}{z} \right] \\ \sigma_z &= \frac{E}{\mu(3-\mu)} \left[(1-\mu) \frac{u}{x} + (1-\mu) \frac{v}{y} + (1+\mu) \frac{w}{z} \right] \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где δ_x , δ_y , δ_z — напряжения на гранях параллелепипеда;
 u , v , w — соответствующие удлинения;

E — модуль упругости первого рода.

В этой общей части работы автор уделяет большое внимание выбору величины μ — коэффициента Пуассона. После критического рассмотрения работ Пуассона, Каньяр де Латура, Вертгейма и Реньо Гадолин рекомендует при расчете орудийных стволов принимать $\mu = 1/3$.

После общих рассуждений о силах упругости и деформациях Гадолин переходит к непосредственному рассмотрению прочности орудийных стволов. В связи с этим он пишет: «При выстреле, во время движения снаряда по каналу ствола, давление пороховых газов действует на его стены, стремясь расширить слой частиц стенок, непосредственно облегающий канал орудия², первый принимает действие пороховых газов.

Этот слой расширяется, и частицы его приближаются к частицам слоя, непосредственно его покрывающего. Такому приближению частиц сопротивляется сила упругости, которая в виде отталкивательной силы стремится удалить частицы одного на прежнее расстояние от частиц другого. От действия этой силы частицы второго слоя приходят в движение, удаляясь от оси орудия и приближаясь поэтому к частицам третьего слоя. Между вторым и третьим слоем появляется сила упругости, стремящаяся удалить от оси орудия частицы третьего слоя и т. д. Через короткое время все частицы стенок приходят в движение. Полная теория

¹ В формулах приняты обозначения, чаще встречающиеся в современной литературе.

² Под словом «орудие» здесь и далее Гадолин имеет в виду ствол.

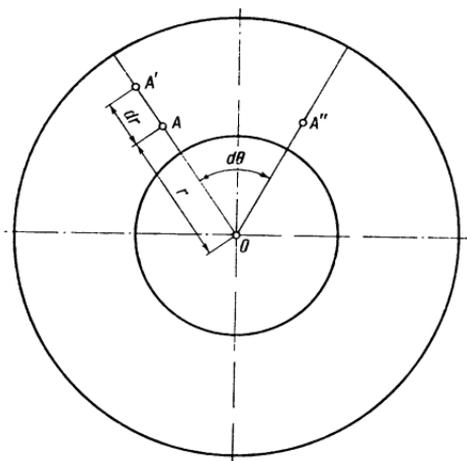


Рис. 2

сопротивления орудия давлению газов должна бы обнаружить вполне законы этих перемещений и показать, в какой степени крепость металла позволяет ему сопротивляться. Средства анализа недостаточны для решения такого вопроса в общем его виде. Делая известные допущения, можем, однако, получить решение, которое не совершенное, но представляющее между тем интерес практический».

Приступая к изучению внутренних перемещений, автор рассматривает полый цилиндр, который подвергается действию некоторого равномерного внутреннего давления (давление пороховых газов) и, кроме того, действию на наружную поверхность некоторого внешнего давления, тоже во всех точках равномерного. Последнее давление в обыкновенных условиях является давлением атмосферным.

Вообразим сечение (рис. 2) этого цилиндра, перпендикулярное его оси. Так как внутренняя и наружная окружности этого сечения подвергаются во всех точках одинаковому давлению, то перемещение частиц металла в нем происходит вдоль по радиусам. Пусть первоначальное расстояние какой-нибудь точки A от оси цилиндра будет $OA=r$ и перемещение этой точки вдоль по радиусу составит δr . Если при переходе вдоль по радиусу от точки A к смежной A' r меняется на dr , то dr изменится на $\frac{d\delta r}{dr} dr$. Поэтому расстояния точки A от центра O до и после перемещения равны r и $r + \delta r$; расстояния от смежной с нею точки A'

до центра O до и после перемещения составляют $r + dr$ и $r + dr + \delta r + \frac{d\delta r}{dr} dr$. Расстояние между обоими точками до перемещения было dr , после перемещения оно сделалось равным $dr + \frac{d\delta r}{dr} dr$. Увеличение расстояния по сравнению с прежней его величиной даст отношение $\frac{d\delta r}{dr}$, которое выражает радиальное растяжение.

При переходе от точки A к смежной A'' вдоль по окружности радиус r остается неизменным по величине, но новый радиус OA'' образует с радиусом OA угол $d\theta$. Обе частицы A и A'' перемещаются вдоль по радиусам на δr . Расстояние между частицами до перемещения будет $r d\theta$, а после перемещения $(r + \delta r) d\theta$, т. е. увеличилось на $\delta r d\theta$. Отношение между увеличением расстояния и прежним его значением выразится величиной $\frac{\delta r d\theta}{r d\theta} = \frac{\delta r}{r}$.

Итак, растяжение по окружности, направление которой в каждой точке указывается направлением касательной, выражается через $\frac{\delta r}{r}$.

«Из рассмотренного выше случая равновесия параллелепипеда известно, что хотя только два основания его подвергаются действию равных и противоположных сил, однако частичное перемещение происходит не только по направлению этих сил, но также и по направлению перпендикулярному. Поэтому мы вправе полагать, что давления, действующие на полый цилиндр внутри и снаружи нормально к внутренней и наружной поверхностям, вызывают перемещение точки не только вдоль радиуса, но и в направлении, параллельном оси канала ствола перпендикулярно радиусу. Обозначим расстояние точки A рассматриваемого нами поперечного сечения цилиндра от его основания через z , и пусть это расстояние при перемещении точки увеличивается на δz . При принятых нами обозначениях относительное увеличение расстояния z напишется в следующем виде $\frac{d\delta z}{dz} \gg$.

Упомянутые выше относительные деформации ствола в настоящее время называются: $\frac{d\delta r}{dr}$ — радиальная, $\frac{\delta r}{r}$ —

тангенциальная, касательная или окружная и $\frac{d\delta z}{dz}$ — осевая. В дальнейшем примем следующие обозначения:

$$\frac{d\delta r}{dr} = \varepsilon_r; \quad \frac{\delta r}{r} = \varepsilon_k; \quad \frac{d\delta z}{dz} = \varepsilon_z.$$

Перед тем как выводить выражения для сил упругости и уравнения упругого движения полого цилиндра, А. В. Гадолин делает следующие два допущения:

а) всякое поперечное сечение, а также и оба основания цилиндра и после действия давлений, т. е. после деформации, остаются плоскими;

б) труба (полый цилиндр) после деформации сохраняет цилиндрическую форму».

Имея это в виду, следует считать, что деформация ε_z может зависеть только от z , а деформации ε_r и ε_k — только от r .

«При принятии этих допущений, — писал Гадолин, — следует, что две частицы, находящиеся первоначально на общем радиусе, и после перемещения будут находиться на общем радиусе и что две частицы, находящиеся первоначально на общей прямой, параллельной оси цилиндра, после перемещения также будут находиться на общей прямой, параллельной той же оси. При наличии упомянутых условий — мы будем вправе применить формулу (1)».

При всех дальнейших рассуждениях он предполагал, что материал трубы однороден и изотропен, давления нормальны к поверхностям трубы и равномерно распределены по указанным поверхностям. После этих замечаний автор приступал к выводу «уравнения упругого движения полого цилиндра», весьма простому и оригинальному. Мы не будем воспроизводить этот вывод полностью в том виде, в каком он изложен в рассматриваемой работе А. В. Гадолина, а приведем лишь его некоторые обозначения, определения и конечный результат. В тексте говорится:

«Если назовем проекции на внешние нормали сил упругости, действующих на грани u_1 , u_2 и u_3 через p , q , s , то для выражения их необходимо в формуле (1) заметить растягивания $\frac{u}{x}$, $\frac{v}{y}$, $\frac{w}{s}$ растягиваниями $\frac{d\delta r}{dr}$, $\frac{\delta r}{r}$, $\frac{d\delta z}{dz}$, поставив внутри скобок коэффициент $(1 + \mu)$ перед той из деформаций, которая направлена по

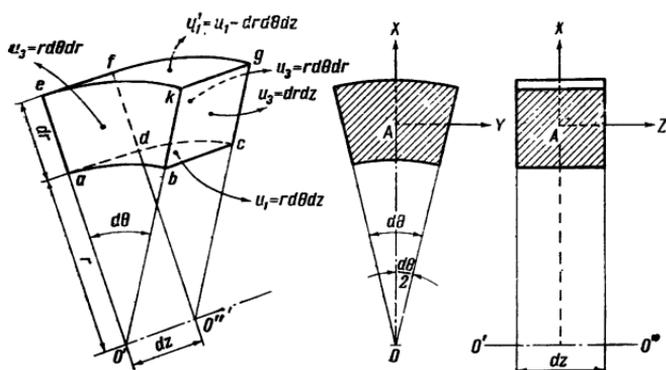


Рис. 3

выражаемой силе, а $(1 - \mu)$ — перед обоими другими перемещениями». После этого указанные выражения принимают у него следующий вид:

$$\left. \begin{aligned}
 p &= \frac{E}{\mu(3-\mu)} \left[(1 + \mu) \frac{d\delta r}{dr} + (1 - \mu) \frac{\delta r}{r} + \right. \\
 &\quad \left. + (1 - \mu) \frac{d\delta z}{dz} \right] u_1 \\
 q &= \frac{E}{\mu(3-\mu)} \left[(1 - \mu) \frac{d\delta r}{dr} + (1 + \mu) \frac{\delta r}{r} + \right. \\
 &\quad \left. + (1 - \mu) \frac{d\delta z}{dz} \right] u_2 \\
 s &= \frac{E}{\mu(3-\mu)} \left[(1 - \mu) \frac{d\delta r}{dr} + (1 - \mu) \frac{d\delta r}{r} + \right. \\
 &\quad \left. + (1 + \mu) \frac{d\delta z}{z} \right] u_3
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Далее Гадолин выделяет около точки A бесконечно малый элемент (рис. 3). Для этого он проводит две плоскости поперечного сечения на расстоянии dz одну от другой, две меридиальные плоскости под бесконечно малым углом $d\theta$ и две соосные с трубой цилиндрические поверхности с радиусами r и $r + dr$. Объем этого элемента

$$d\Omega = r d\theta dr dz. \quad (3)$$

Площади граней элемента будут:

а) грани $abcd = u_1 = r d\theta dz$.

б) грани $efgk = u_2 = (r + dr) d\theta dz$,

в) грани $bckg = adfl = drdz$,

г) грани $abke = cdfg = u_3 = rd\theta dr$.

Для дальнейших выводов автор составляет условия равновесия элемента относительно трех взаимно перпендикулярных осей с учетом сил инерции и суммы моментов относительно этих же осей. В отношении последних он замечает:

«Легко убедиться, что суммы моментов сил относительно всех трех осей обращаются в нуль, а поэтому три уравнения моментов только показывают, что под действием сил упругости элемент никакого вращения не получит, что мы и без того знали. Поэтому этих уравнений дальше рассматривать не нужно».

Итак, из шести общих уравнений движения остаются только два, которые заключают в себе полное решение вопроса относительно упругого движения и равновесия в рассматриваемом случае:

$$E \frac{(1 + \mu)}{\mu(3 - \mu)} \left(r \frac{d^2 \delta r}{dr^2} + \frac{d\delta r}{dr} - \frac{\delta r}{r} \right) - \gamma r \frac{d^2 \delta r}{dt^2} = 0, \quad (4)$$

$$E \frac{(1 + \mu)}{\mu(3 - \mu)} \frac{d^2 \delta z}{dz^2} - \gamma \frac{d^2 \delta r}{dt^2} = 0, \quad (5)$$

где t — время;

γ — масса единицы объема.

«Мы имеем здесь два дифференциальных уравнения с частными производными; они заключают две искомые величины δr и δz (внутренние перемещения частиц полого цилиндра), которые должны быть определены в функции от переменных независимых r , z и t ».

Для случая равновесия, которого достигает полый цилиндр под действием постоянных и равномерно распределенных давлений, действующих на внутреннюю и наружную поверхность цилиндра, сила инерции равна нулю и уравнения (4) и (5) принимают вид

$$r \frac{d^2 \delta r}{dr^2} + \frac{d\delta r}{dr} - \frac{\delta r}{r} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{d^2 \delta z}{dz^2} = 0. \quad (7)$$

Второе уравнение дает $\frac{d\delta z}{dz} = a$ и $\delta z = az + b$, где a и b суть произвольные постоянные. Если вообразим, что одно из оснований цилиндра (там, где $z = 0$) непод-

видно, то для $z = 0$ должны иметь $dz = 0$, поэтому $b = 0$
и

$$\delta z = az. \quad (8)$$

Постоянную a оставим пока неопределенной.
Общий интеграл уравнения (6) будет

$$\delta r = Ar + \frac{B}{r} \quad (9)$$

или

$$\frac{\delta r}{r} = A + \frac{B}{r^2}, \quad (9a)$$

где A и B произвольные постоянные.

Постоянные интегрирования выражаются следующими зависимостями:

$$A = a = \frac{\mu}{E} \frac{P_1 r_1^2 - P_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}, \quad (10)$$

$$B = \frac{3 - \mu}{3E} \frac{r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} (P_1 - P_2), \quad (11)$$

где r_1 и r_2 — внутренний и наружный радиусы трубы; P_1 и P_2 — давления, действующие на внутреннюю и наружную поверхности трубы.

Что касается выражений для σ_r — радиального, σ_k — тангенциального и σ_z — осевого напряжений, то после всех преобразований таковые напишутся в следующем виде:

$$\sigma_r = \frac{E}{\mu(3-\mu)} [(1+\mu)\varepsilon_r + (1-\mu)\varepsilon_k + (1-\mu)\varepsilon_z], \quad (12)$$

$$\sigma_k = \frac{E}{\mu(3-\mu)} [(1-\mu)\varepsilon_r + (1+\mu)\varepsilon_k + (1-\mu)\varepsilon_z], \quad (13)$$

$$\sigma_z = \frac{E}{\mu(3-\mu)} [(1-\mu)\varepsilon_r + (1-\mu)\varepsilon_k + (1+\mu)\varepsilon_z], \quad (14)$$

где $\varepsilon_r = \frac{d\delta r}{dr}$; $\varepsilon_k = \frac{dr}{r}$ и $\varepsilon_z = \frac{d\delta z}{dz}$.

Зная выражения для постоянных интегрирования, приведенным уравнениям можно придать следующий вид:

$$\sigma_r = -P_1 \frac{r_1^2}{r^2} \frac{r_2^2 - r^2}{r_2^2 - r_1^2} - P_2 \frac{r_2^2}{r^2} \frac{r^2 - r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}, \quad (15)$$

$$\sigma_k = P_1 \frac{r_1^2}{r^2} \frac{r_2^2 + r^2}{r_2^2 - r_1^2} - P_2 \frac{r_2^2}{r^2} \frac{r^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}, \quad (16)$$

$$\sigma_z = \frac{P_1 r_1^2 - P_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (17)$$

Для определения относительных деформаций получатся следующие уравнения:

$$\varepsilon_r = -\frac{1}{E} \left[\frac{2}{3} P_1 \frac{r_1^2}{r^2} \frac{2r_2^2 - r^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{2}{3} P_2 \frac{r_2^2}{r^2} \frac{r^2 - 2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{1}{3} \sigma_z \right], \quad (18)$$

$$\varepsilon_k = \frac{1}{E} \left[\frac{2}{3} P_1 \frac{r_1^2}{r^2} \frac{2r_2^2 + r^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{2}{3} P_2 \frac{r_2^2}{r^2} \frac{r^2 + 2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{1}{3} \sigma_z \right], \quad (19)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} \left(\sigma_z - \frac{2}{3} \frac{P_1 r_1^2 - P_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \right), \quad (20)$$

где r — текущий радиус, который может принимать значения от r_1 до r_2 .

Последние шесть формул были известны ранее. Заслуживает Гадоллина является то, что он дал новый их вывод, причем произвел это весьма оригинально и первый обосновал их применимость для расчета на прочность орудийных стволов.

Пользуясь приведенными формулами, он произвел весьма подробные исследования цилиндрической трубы, находящейся под действием равномерно распределенных внутреннего и наружного давлений. В работе впервые были приведены итоги исследования деформаций и напряжения, возникающих в стенках трубы, расширения канала, сжатия стенок, изменения объема цилиндра, участия отдельных слоев стенок трубы в общем сопротивлении разрыву и целого ряда других явлений. Поскольку эти исследования представляют определенный научный интерес и сегодня, ниже будут рассмотрены наиболее важные из них.

Прежде всего Аксель Вильгельмович обратил внимание на влияние дна на деформацию трубы (рис. 4). По этому поводу он говорит: «Заметим, что если цилиндр будет закрыт

дном, составляющим одно тело с цилиндром, и если это дно подвергается изнутри давлению P_1 , а снаружи — давлению P_2 , то проекция, по направлению внешнего продол-

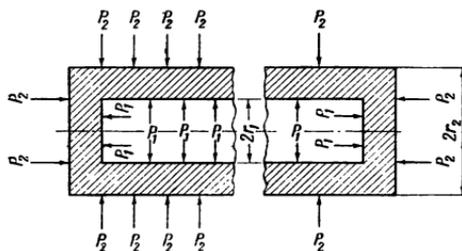


Рис. 4

жения оси цилиндра, силы давления на внутренней поверхности дна будет $P_1 \pi r_1^2$; проекция по тому же направлению силы наружного давления, действующего на дно, будет $P_2 \pi r_2^2$. Поэтому действие на дно происходит на все кольцеобразное основание силой, проекция которой на внешнее продолжение оси цилиндра будет $\pi (P_1 r_1^2 - P_2 r_2^2)$. Сила эта может, однако, действовать в различных точках кольцевого основания различно: это зависит от внутренних частичных перемещений дна и поэтому от фигуры дна. При известной форме дна могло бы быть, что и давление, происходящее во всех точках кольцеобразного основания цилиндра, одинаково. Понятно, что при неравномерном распределении давления оно может в одном месте достигать значительной величины, которая если превосходит крепость металла, то производит разрыв; поэтому понятно, что такая фигура дна, которая увлекла бы за собой равномерное распределение давления, допускает наименьшую возможность разрыва и представляет наибольшую крепость¹. Но вопрос о наилучшей форме дна мы покамест оставим и предположим, при дальнейшем выводе относительно сопротивления цилиндра, что условие равномерности давления выполнено».

¹ Курсивом нами выделены рассуждения А. В. Гадолина о распределении напряжений у дна трубы. В дальнейшем будет показано, что этот вопрос Гадолиным был решен весьма обстоятельно, так как имел огромное значение для прочности затворной (казенной) части орудийных стволов.

Далее рассматривается вопрос об изменении отношения $\frac{\delta r_1}{\delta r_2}$ в зависимости от толщины стенок ствола, выраженной в калибрах¹, и значениях $\mu = 1/3$ и $\mu = 1/2$. Результаты этих исследований приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1

Толщина стенки трубы в калиб- рах	1/8	1/4	1/2	3/4	1	1/4	1/2	3/4	2,0
$\frac{\delta r_1}{\delta r_2}$ при $\mu = \frac{1}{3}$	1,16	1,33	1,70	2,08	2,47	2,86	3,25	3,64	4,04 ¹
$\frac{\delta r_1}{\delta r_2}$ при $\mu = \frac{1}{2}$	1,12	1,26	1,57	1,90	2,24	2,58	2,93	3,28	3,63

Впоследствии Гадолин в вычислениях показал, какое может иметь влияние на результаты расчетов точное значение величины μ .

Из таблицы видно, что с увеличением толщины стенок трубы увеличивается отношение $\frac{\delta r_1}{\delta r_2}$, т. е. удлинение δr_1 внутреннего радиуса по отношению к удлинению δr_2 наружного радиуса увеличивается, хотя с увеличением толщины стенок обе эти величины уменьшаются. «Вследствие большего расширения канала, — указывает Гадолин, — против расширения наружной поверхности трубы стенки ее сжимаются».

Чтобы более наглядно показать зависимость деформаций сжатия и растяжения от толщины стенок трубы, А. В. Гадолин произвел обширные вычисления, которые наглядно показывают, что:

- 1) растяжения по окружности всегда больше, чем сжатие по направлению радиуса;
- 2) растяжение и сжатие уменьшаются при увеличении толщины стенок трубы.

¹ Под словом «калибр» подразумевается внутренний диаметр трубы.

Данные изменения величины растяжения на поверхности канала ствола в зависимости от толщины стенок ствола приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2

Увеличение толщины стенок в калибрах	Уменьшение растяжения на поверхности канала по отношению к прежней величине при	
	$\mu = 1/2$	$\mu = 1/3$
0,125 ÷ 0,25	0,40	0,38
0,25 ÷ 0,5	0,31	0,29
0,5 ÷ 0,75	0,14	0,13
0,75 ÷ 1,0	0,07	0,07
1,0 ÷ 1,25	0,04	0,04
1,25 ÷ 1,5	0,03	0,03
1,5 ÷ 1,75	0,02	0,02
1,75 ÷ 2,0	0,01	0,01
2,0 ÷ 3,5	0,005	0,005

Особое внимание в исследованиях обращено на участие отдельных слоев стенок труб в общем ее сопротивлении внутреннему давлению. Своими исследованиями Гадолин показал, что степень участия каждого цилиндрического слоя в стенке трубы пропорциональна той величине, которую принимает тангенциальное напряжение σ_k для этого слоя. Для определения этого напряжения в зависимости от внутреннего давления P_1 и радиуса r из формулы (16) не трудно получить выражение:

$$\sigma_k = P_1 \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left(1 + \frac{r_2^2}{r^2} \right) = A + \frac{B}{r^2}. \quad (21)$$

«Из этой формулы видно, что участие всякого слоя в общем сопротивлении не зависит ни от коэффициента упругости, ни от величины μ . Так как значение σ_k уменьшается при увеличении r , то понятно, что внутренние слои сильнее участвуют в общем сопротивлении, нежели наружные». Чтобы получить об этом более ясное представление, сравнивается участие внутреннего слоя у поверхности канала трубы с участием в сопротивлении наружного слоя. Подставив в формулу (21) $r = r_2$ и $r = r_1$ и взяв отношение

Толщина стенок в калибрах	1/8	1/4	1/2	3/4
Отношение между участием наружного и внутреннего слоев в общем сопротивлении цилиндра	$\frac{1}{1,28}$	$\frac{1}{1,62}$	$\frac{1}{2,5}$	$\frac{1}{3,62}$

между полученными величинами, имеем:

$$\frac{\text{участие наружного слоя}}{\text{участие внутреннего слоя}} = \frac{2r_1^2}{r_2^2 + r_1^2}. \quad (22)$$

Величина этого отношения при различной толщине стенок ствола приведена в табл. 3.

Рассматривая данные таблицы, А. В. Гадолин делает вывод, что «при толщине стенок больше двух калибров, участие наружного слоя в общем сопротивлении довольно ничтожно».

Статья заканчивается целым рядом таблиц, в которых приведены результаты вычисленных им значений наибольших давлений, допускаемых в цилиндрах с различной толщиной стенок и изготовленных из «артиллерийского металла, чугуна самого крепкого, железа и стали». На основании этих вычислений Гадолин делает весьма важное для того времени заключение: «Орудие бессрочной службы можно приготовить разве из одной только стали. Заметим, что при этом не приняты еще в расчет другие причины, действующие вредно на сопротивления орудия, как то: сотрясения, трение и удары снаряда, влияние запала, химическое действие пороха и проч.»

Для расчета нескрепленных оружейных стволов на прочность Аксель Вильгельмович предлагает следующие формулы:

$$P_1 = \sigma_e \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_2^2 + r_1^2}, \quad (23)$$

$$r_2 = r_1 \sqrt{\frac{\sigma_e + P_1}{\sigma_e - P_1}}, \quad (24)$$

ТАБЛИЦА 3

1,0	1 ¹ / ₄	1 ¹ / ₂	1 ³ / ₄	2,0	2 ¹ / ₄	2 ¹ / ₂
$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6,62}$	$\frac{1}{8,5}$	$\frac{1}{10,6}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{15,6}$	$\frac{1}{18,5}$

$$P_1 = 3\sigma_e \frac{r_2^2 - r_1^2}{4r_2^2 + r_1^2}, \quad (25)$$

$$r_2 = r_1 \sqrt{\frac{3\sigma_e + P_1}{3\sigma_e - 4P_1}}. \quad (26)$$

Эти формулы легко можно получить при $P_2 = 0$ и $r = r_1$ из формул (16) и (19), полагая $\sigma_k = \sigma_e$ или $E\varepsilon_k = \sigma_e$, где σ_e — предел упругости металла ствола.

Нетрудно заметить¹, что выражение (23) представляет собой не что иное, как формулу для определения предела упругого сопротивления нескрепленного ствола по теории наибольших напряжений, а выражение (25) — формулу для определения того же предела с учетом влияния дна по теории наибольших деформаций, связанной с именем Сен-Венана.

Таким образом, в рассмотренной работе, как уже было сказано, подробно изложены результаты исследования цилиндрической трубы, находящейся под равномерным внутренним и внешним давлением, приведены данные о деформациях и напряжениях, возникающих в стенках трубы при действии на нее внутреннего и внешнего давления, освещены вопросы расширения канала, сжатия стенок, изменения объема цилиндра, сжатия металла по направлению радиуса и растяжения по направлению касательной, участия отдельных слоев в общем сопротивлении цилиндра и целый ряд других вопросов. Кроме того, впервые выведены формулы для расчета нескрепленных орудийных стволов.

По своей научной значимости работа академика Акселя Вильгельмовича Гадолина стояла не ниже аналогичной

¹ См.: Э. К. Л а р м а н. Проектирование и производство артиллерийских систем, ч. 1. М., 1949, стр. 61.

работы немецкого ученого Винклера, опубликованной двумя годами позднее (в 1860 г.).

За эту работу А. В. Гадолин в 1861 г. был удостоен большой Михайловской премии.

Теория скрепленных орудийных стволов

Спустя три года после опубликования рассмотренной выше статьи в «Артиллерийском журнале» (№ 12 за 1861 г.) появилась вторая статья А. В. Гадолина «Теория орудий, скрепленных оброчами», которая являлась продолжением первой, имевшей большую научную ценность.

В работе 1858 г. было доказано, что увеличение толщины стен трубы свыше известного предела потому мало способствует повышению ее прочности, что наружные слои в весьма малой степени участвуют в сопротивлении разрыву. Совсем другое дело, если труба обтянута оброчами или наружными цилиндрами, надетыми на внутреннюю трубу так, чтобы они ее обжимали. В этом случае еще до действия пороховых газов в канале орудия в стенках трубы создаются напряжения (напряжения сжатия), повышающие ее прочностное сопротивление. В стенках, надетых на трубу кольца или цилиндрических оболочках до выстрела существуют напряжения растяжения. При давлении газов в канале составного ствола наружные слои его будут растягиваться еще больше и поэтому участвовать в общем сопротивлении ствола в гораздо большей степени, чем в случае ствола нескрепленного.

Высказанные соображения можно для двухслойного ствола наглядно проиллюстрировать при помощи эпюр напряжений (рис. 5). Представим трубу, у которой внутренний радиус r_1 , а наружный — r_3 (рис. 5, а) и которая подвергается действию внутреннего давления P_1 . Под влиянием этого давления в ее стенках возникнут напряжения, которые, как сказано выше, на внутренней поверхности имеют наибольшее значение, а в толще стенок по направлению к наружной поверхности могут быть графически представлены эпюрой $ABFG$.

Теперь представим двухслойную трубу, имеющую прежние внутренний и наружные радиусы r_1 и r_3 , а радиус раздела слоев r_2 . Однако из этих слоев труба собрана так, что еще до действия внутреннего давления P_1 в стенках первого (внутреннего) слоя созданы напряжения сжатия, изоб-

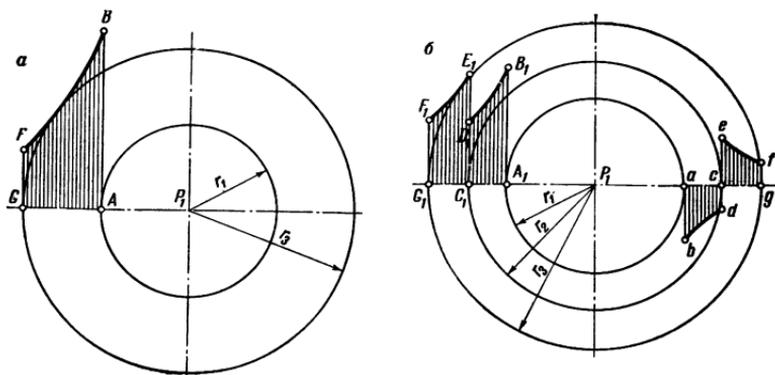


Рис. 5

раженные эпюрой $abdc$, в стенках наружного слоя — напряжения растяжения, изображенные эпюрой $cefg$ (рис. 5, б). Если теперь в канале составной трубы действует давление P_1 , то в стенках ее возникнут те же напряжения, изображенные эпюрой $ABFG$, которые, складываясь с напряжениями, существовавшими в ее стенках до действия давления P_1 , создадут действительные напряжения, изображаемые эпюрами $A_1 B_1 D_1 C_1$ и $C_1 E_1 F_1 G_1$. Как видно, в последнем случае все слои стенок трубы напряжены более равномерно. Кроме того, напряжения на внутренней поверхности составной трубы, изображаемые ординатой $A_1 B_1$, будут значительно меньше, чем в монолитной трубе, так как $A_1 B_1 = AB - ab$.

Для практики оружейного дела все это имело и имеет в настоящее время весьма существенное значение. Для упругого сопротивления ствола необходимо, чтобы наибольшие напряжения не превосходили предела упругости металла, из которого изготовлен ствол. Как видно из рис. 5, в первом случае, для того чтобы ствол обладал упругим сопротивлением давлению P_1 , металл должен обладать значительно ббльшим пределом упругости σ_e , чем во втором. Однако если такого металла нет, то, очевидно, в стволе можно создавать давление P , меньшее P_1 . Если же во втором случае для изготовления ствола взять металл с таким же пределом упругости, как в первом случае, то в канале можно создавать давление P , большее чем P_1 .

Максимальной величиной давления до известной степени характеризуется мощность артиллерийского орудия.

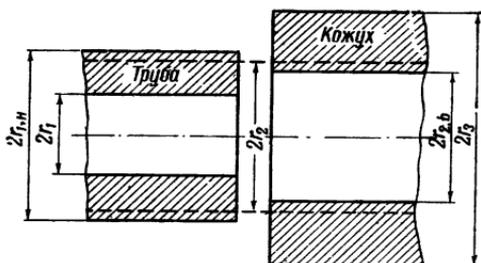


Рис. 6

Чем это давление больше, тем более мощным можно сделать артиллерийское орудие.

Таким образом, разработка теории проектирования и изготовления скрепленных стволов открыла путь к повышению мощности артиллерийских орудий. Приоритет решения этой проблемы принадлежит академику Акселю Вильгельмовичу Гадолину.

В начале своей работы по теории скрепленных стволов Гадолин вновь обращает внимание на продольное растяжение орудийного ствола.

По этому вопросу он, в частности, говорит: «Окончательные формулы были выведены в том предположении, что на дно канала внутри действует одинаковое давление с внутренним давлением на стены, а на заднюю поверхность казенной части — давление, одинаковое с наружным давлением. Давления эти такого рода, как они встречаются при обыкновенных обстоятельствах стрельбы, причем отдача орудия передается лафету посредством цапф».

Хотя у современных орудий отдача ствола передается на лафет не через цапфы, все же формулы, выведенные Гадолиным, и сегодня почти полностью применимы для расчета стволов орудий. Вывод формул в рассматриваемой нами работе произведен для расчета скрепленных стволов, состоящих из n слоев (число слоев может меняться от двух до бесконечности). Вследствие этого формулы А. В. Гадолина по своему внешнему виду чрезмерно громоздки и выводить их для любого числа слоев трудно. Если же формулы трансформировать или выводить для скрепленных стволов, состоящих из двух и трех слоев, то они получаются весьма простыми. Однако следует подчеркнуть, что эта простота выводов в настоящее время основывается на

сложных и фундаментальных теоретических исследованиях, проведенных в свое время А. В. Гадолиным.

Для получения скрепленного ствола необходимо соответствующим образом изготовить внутреннюю и наружную трубы. По установившейся терминологии первый внутренний слой называют трубой, а наружный — скрепляющим слоем или кожухом.

Обозначим через r_1 — внутренний радиус трубы, $r_{1н}$ — наружный радиус трубы до скрепления, $r_{2в}$ — внутренний радиус кожуха до скрепления, r_3 — наружный радиус кожуха (рис. 6). Так как $r_{1н} > r_{2в}$, то

$$\gamma_2 = \frac{r_{1н} - r_{2в}}{r_{2в}},$$

где γ_2 — весьма малая величина (не более 0,002), называемая относительным натяжением.

Для того чтобы на трубу надеть кожух, последний необходимо нагреть до какой-то определенной температуры. При нагревании радиус $r_{2в}$ увеличивается и кожух свободно надевается на трубу. При охлаждении кожух, стремясь принять свои прежние размеры, обжимает трубу снаружи. Равновесие между трубой и кожухом устанавливается по цилиндрической поверхности радиуса r_2 . Как видно из рисунка 6, $r_{2в} < r_2 < r_{1н}$.

Далее автор полагает, что после скрепления между обоими трубами устанавливается плотное прилегание и что все новые деформации и напряжения в этих трубах будут возникать таким же образом, как и в нескрепленной трубе. Исходя из этого, для каждого из цилиндров и всей составной трубы в целом можно применять формулы, которые были получены для нескрепленной трубы.

Допущение о плотном прилегании слоев в составной цилиндрической трубе дало возможность Гадолину теоретически исследовать ряд вопросов скрепления орудийных стволов и получить все необходимые формулы для их проектирования.

Для того чтобы на практике скрепленный слой наиболее полно удовлетворял упомянутым выше условиям плотного прилегания, цилиндрические поверхности слоев под скрепление должны подвергаться весьма тщательной механической обработке с последующей полировкой. Поэтому орудийное производство считалось одним из трудных и требовало высокого мастерства и умелых рук.

Для более полной характеристики работы рассмотрим хотя бы основные формулы расчета двухслойного скрепленного ствола.

Внутреннюю трубу ствола после скрепления можно рассматривать как простую трубу, на наружную поверхность которой действует давление P_2^1 , называемое давлением, произведенным скреплением. Оно зависит от величины относительного натяжения γ_2 , размеров трубы и кожуха. Если предположить, что это давление известно, то, полагая в формуле (16) $P_1 = 0$ и $P_2 = P_2^1$, можно получить выражение для определения того тангенциального напряжения сжатия σ'_{k1} , которое создается на внутренней поверхности трубы после скрепления (ордината ab на рис. 5, б).

$$\sigma'_{k1} = -P_2^1 \frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}.$$

Полагая $\sigma'_{k1} = -T_1$, где T_1 — положительная величина, называемая тангенциальным напряжением сжатия, произведенным скреплением, получаем

$$T_1 = P_2^1 \frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (27)$$

Если предположить, что предел упругости металла трубы σ_{e1} , то давление P_1^{II} , которое можно допустить в канале ствола во время выстрела, должно быть таким, которое выбирает напряжение сжатия T_1 и создает в стенках трубы напряжение, равное σ_{e1} (ордината $A_1 B_1$ на рис. 5, б). Поскольку (исходя из условий плотного прилегания) напряжения в стенках скрепленного ствола распространяются так же, как в нескрепленном, то по аналогии с формулой (23) можно написать:

$$P_1^{\text{II}} = (\sigma_{e1} + T_1) \frac{r_3^2 - r_1^2}{r_3^2 + r_1^2}. \quad (28)$$

При условии, что радиусы r_1 одинаковы и r_3 равен r_2 , в формуле (28) значение $P_1^{\text{II}} > P_1$.

А. В. Гадолин отмечает, что значение P_1^{II} показывает то предельное давление, которое можно допустить в канале скрепленного ствола, чтобы в трубе не возникли оста-

точные деформации, и совершенно не характеризует состояние скрепляющего слоя — кожуха. Давление P_1^{II} получило наименование предела возможного сопротивления скрепленной трубы.

Если рассматривать скрепленный ствол, состоящий из трех слоев, у которого радиусы r_1, r_2, r_3 и r_4 , а пределы упругости металла слоев σ_{e1}, σ_{e2} и σ_{e3} , то Гадолин вывел формулы для определения давления P_1^{I} , при действии которого в канале ствола на внутренних поверхностях всех слоев напряжения достигают величины соответствующего предела упругости металла. Давление P_1^{I} принято называть пределом упругого сопротивления скрепленного ствола.

Выражения для определения этого предела имеют вид: а) по теории максимальных напряжений (1-я теория прочности)

$$P_1^{\text{I}} = \sigma_{e1} \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_2^2 + r_1^2} + \sigma_{e2} \frac{2r_2^2}{r_2^2 + r_1^2} \frac{r_3^2 - r_2^2}{r_3^2 + r_2^2} + \sigma_{e3} \frac{2r_2^2}{r_2^2 + r_1^2} \frac{2r_3^2}{r_3^2 + r_2^2} \frac{r_4^2 - r_2^2}{r_4^2 + r_2^2}, \quad (29)$$

б) по теории максимальных деформаций (2-я теория прочности)

$$P_1^{\text{I}} = \frac{3}{2} \sigma_{e1} \frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 + r_1^2} + \frac{3}{2} \sigma_{e2} \frac{3r_2^2}{2r_2^2 + r_1^2} \frac{r_3^2 - r_2^2}{2r_3 + r_2^2} + \frac{3}{2} \sigma_{e3} \frac{3r_2^2}{2r_2^2 + r_1^2} \frac{3r_3^2}{2r_3^2 + r_2^2} \frac{r_4^2 - r_2^2}{2r_4^2 + r_3^2}. \quad (30)$$

Нетрудно видеть, что при определенных значениях σ_{e1}, σ_{e2} и σ_{e3} величина P_1^{I} будет зависеть также от величины промежуточных радиусов. Академик Гадолин доказал, что соотношение радиусов можно выбрать так, чтобы при прочих равных условиях P_1^{I} достигло максимального значения. Его исследования показали, что в этом случае радиусы должны следовать закону

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{r_3}{r_2} = \frac{r_4}{r_3} = \frac{r_5}{r_4} = \dots = \frac{r_{n+1}}{r_n}, \quad (31)$$

независимо от того, по какой теории прочности производится расчет скрепленного ствола.

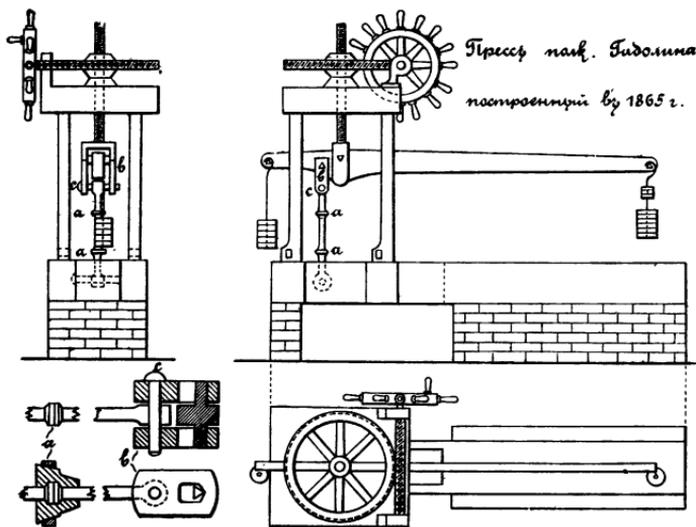


Рис. 7

Не вдаваясь в более подробное рассмотрение всех формул, заметим, что они были полностью выведены для расчета по 1-й и 2-й теориям прочности стволов, скрепленных кольцами и цилиндрами.

Используя условия плотного прилегания, после Гадолина другие авторы получили теоретические зависимости для расчета стволов, скрепленных проволокой (проф. А. Бринк), стволов со свободным лейнером¹ и автофретированных стволов (проф. Н. Ф. Дроздов).

Таким образом, рассматриваемая работа академика Гадолина дала отечественным артиллеристам не только расчетные формулы для стволов, скрепленных цилиндрами, но и метод для разработки теоретических оснований проектирования орудийных стволов других конструкций.

А. В. Гадолин заканчивает свою работу решением ряда примеров и исследованием многих практических вопросов, весьма важных в то время для изготовления артиллерий-

¹ Свободным лейнером называется тонкостенная внутренняя труба ствола, вставляемая в оболочку с зазором (отрицательным натяжением), который в начале выстрела выбирается, и в дальнейшем лейнер принимает вместе с оболочкой участие в сопротивлении разрыву. После выстрела и охлаждения ствола лейнер можно свободно извлечь из оболочки.

ских орудий, но в настоящий момент представляющих только исторический интерес. К таким вопросам, в частности, относятся преимущества использования железных обручей для скрепления чугунных труб, влияние точности изготовления и способов нагонки на трубу скрепляющих колец на прочностное сопротивление орудийных стволов и ряд других.

Для того чтобы разработанная теория давала успешные результаты, указывает автор, необходимо производить предварительные исследования механических характеристик металла, из которого предполагается изготавливать стволы артиллерийских орудий. Гадолин сам занимался изучением свойств орудийного металла и с этой целью даже спроектировал специальный пресс (рис. 7), который был изготовлен в 1865 г.

Исследования сопротивления отрыву казенной части ствола

Значение исследований сопротивления отрыву казенной части¹ ствола для развития стальных нарезных орудий русской артиллерии становится более ясным на фоне общего состояния стале-пушечного производства в России.

Как известно, совершенствованием стале-пушечного производства во второй половине XIX в. на Обуховском заводе в Петербурге занимались такие крупные ученые металловеды и металлурги, как Дмитрий Константинович Чернов, Николай Вениаминович Калакуций и Павел Матвеевич Обухов. Благодаря их трудам в этой области завод славился производством высококачественной орудийной стали и обеспечивал существенный прогресс в деле повышения могущества отечественных орудий морской артиллерии.

Военное министерство решило обзавестись своим собственным стале-пушечным заводом и построить его на реке Каме недалеко от Перми. Чтобы и этот завод стал образцовым по производству стальных орудий, его строителем и первым начальником был назначен один из лучших учеников П. М. Обухова — Николай Васильевич Воронцов. Он быстро составил проект завода. В августе 1863 г.

¹ Казенной частью ствола называется та его часть, в которой помещается затвор. Если она изготовлена в виде отдельной детали, то эта деталь носит название «казенник».

на месте упраздненного Мотовилихинского завода началось строительство крупного оружейного предприятия, одного из крупнейших в Европе, завершившееся в течение примерно двух лет.

Желая убедиться, что на Пермском заводе можно будет изготавливать высококачественные стальные орудия, Артиллерийский комитет настаивал на скорейшем изготовлении опытной 12-фунтовой облегченной пушки системы Обухова и ее испытании 4000 выстрелами. Н. В. Воронцов решил отлить пробное орудие, не дожидаясь окончания постройки сталелитейного цеха. 30 сентября 1864 г. начались испытания пушки. Из орудия было сделано 970 выстрелов зарядом в 3 фунта пороха и 3030 выстрелов зарядом в 4 фунта. Наибольший разгар после стрельбы в камере не превышал $2\frac{1}{2}$ точек, а в остальных частях канал ствола не претерпел никаких изменений. Результаты испытаний показывали, что новый завод в состоянии изготавливать высококачественные артиллерийские орудия. На первых порах все действительно шло очень хорошо, но потом произошло событие, которое показало, что одной высококачественной сталью нельзя обеспечить высокие боевые качества заряжаемых с казны нарезных артиллерийских орудий.

В начале 1868 г. на Пермском заводе было изготовлено 8-дюймовое орудие, ствол которого был скреплен стальными кольцами. Во время испытаний после 23 выстрелов у него оторвало казенную часть. После обсуждения причин отрыва Воронцов распорядился вновь изготовить ее. Причина, которой был приписан первый отрыв, была устранена. Однако и после этого орудие выдержало опять только 23 выстрела. После третьей переделки отрыв казенной части произошел уже после 14 выстрелов. После этого Н. В. Воронцов во время пребывания в Петербурге обратился в Артиллерийский комитет к А. В. Гадолину, от которого получил целый ряд указаний, как увеличить сопротивление отрыву казенной части ствола.

В соответствии с указаниями Гадолина Пермский завод изготовил 8-дюймовую облегченную пушку № 617, которая выдержала испытание более чем 1100 выстрелами. Об этом орудии Артиллерийский комитет в своем журнале записал: «Комитет пришел к заключению, что испытанную в Перми 8-дюймовую пушку следует считать одним из наших лучших орудий. Легкость и прочность этого орудия

таковы, что желательнее было бы воспользоваться теми средствами, которыми располагал завод для приготовления подобных орудий¹.

Работы А. В. Гадолина по исследованию прочности казенной части орудийных стволов, заряжаемых с казны, оказали пользу не только Пермскому, но также и Обуховскому заводу, который испытывал большие трудности при переходе к изготовлению подобных орудий. Результаты исследований по вопросам отрыва казенной части и устройства запирающих механизмов были изложены ученым в записке «О действии запирающего клина на орудие», приложенной к журналу Артиллерийского комитета от 12 мая 1866 г., и в статье «О сопротивлении орудий отрыву казенной части, при употреблении для запирания казны механизма Трель де Болье», приложенной к журналу Технического комитета Главного артиллерийского управления от 13 июня 1868 г. за № 164.

Обе статьи были перепечатаны также в курсе «Об артиллерийских орудиях», изданном для Артиллерийской академии, а кроме того, в «Артиллерийском журнале»: первая в виде извлечений (№ 9 за 1866 г.), вторая почти полностью (№ 2 за 1869 г.).

Появление записки «О действии запирающего клина на орудие» было вызвано к жизни следующими обстоятельствами. В 1865 г. при стрельбе из одного прусского орудия, изготовленного фирмой Круппа, после небольшого количества выстрелов в верхнем углу клинового отверстия была обнаружена сквозная трещина. Хотя наши орудия имели лучшую конструкцию клина и казенной части, чем аналогичные крупповские орудия, все же было решено предпринять подробные исследования по вопросу о прочности казенной части ствола при наличии клинового затвора.

Результаты исследований, проведение которых было поручено А. В. Гадолину, изложены в упомянутой выше записке. Автор ее рассматривает клин как абсолютно твердое тело и пишет уравнения равновесия его под действием, с одной стороны, давления пороховых газов на переднюю поверхность клина и, с другой стороны, сил реакций от отдельных частей казенника.

¹ ААИМ, фонд Артиллерийского комитета, оп. 39/10 — 1, д. 223, л. 9, 1870.

Из этих уравнений Гадолин определяет (в функции от давления пороховых газов для разных случаев, которые могут встретиться на практике) величины сил реакции со стороны стен клинового гнезда и, следовательно, величины тех напряжений, которые возникают в различных частях казенной части ствола. При определении этих сил он проводит различие между тщательно полированными клиньями и клиновыми гнездами и не тщательно полированными. Для тщательно полированных действующие силы приводятся к четырем силам: двум нормальным и двум силам трения. Заслуживает внимания прием, применяемый автором для определения сил трения. Вопрос в этом случае сводится к решению четырех совокупных алгебраических уравнений второй степени с четырьмя неизвестными.

В итоге своих исследований А. В. Гадолин показал преимущества цилиндро-призматического клина перед четырехгранным. На основании этого в русской артиллерии было предложено применять для всех вновь изготавливаемых орудий исключительно цилиндро-призматические клинья (рис. 8, б).

Во второй статье о винтовом затворе, в настоящее время называемом поршневым, Гадолин рассматривает казенную часть ствола как упругую систему и решает по существу два отдельных вопроса: 1) о действии запирающего винта (поршня) на стенки ствола и 2) о влиянии на сопротивление ствола того изгиба, которому подвергается элемент стенок, расположенный в районе затвора, первоначально параллельного оси канала ствола.

Приступая к их рассмотрению, Гадолин пишет:

«Большинство вопросов по теории упругого сопротивления тел действию известных внешних сил представляет при решении столь значительные трудности, что при нынешнем состоянии высшего анализа точное решение задачи оказывается невозможным. К этому разряду относится и настоящий вопрос о сопротивлении орудий отрыванию казенной части...»

Действительно, запирающий винт или поршень *a* имеет ряд гладких и ряд нарезных секторов (рис. 9). С помощью последних запирающий винт сцепляется со стволом. При рассмотрении вопроса о действии запирающего винта на стенки ствола во время выстрела Гадолин допускает, что запирающий винт не имеет гладких секторов и, следовательно, нарезка круговая. В этом случае винт сцепляется

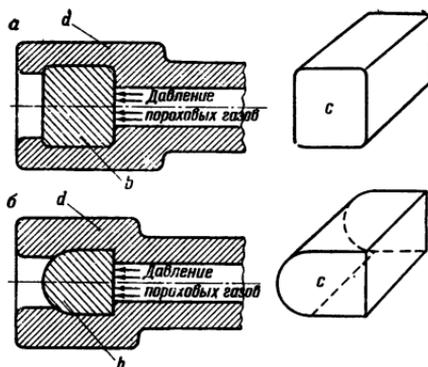


Рис. 8

с внутренними слоями стенок ствола по всей цилиндрической поверхности. Так как давление P_0 пороховых газов действует на передний срез запирающего винта, то вследствие указанного выше сцепления последнего со стволом это усилие передается на поверхность поршневого гнезда в виде равномерного распределенного касательного усилия, действующего параллельно оси канала ствола. Затем автор предполагает, что на срезе казенной части ствола действует некоторое касательное усилие, а на поперечном разрезе ствола в плоскости, проведенной через переднюю точку зацепления винта, также действует известное усилие и что эти последние будут именно теми, которые проявятся вследствие связи замковой части с остальной частью ствола.

Кроме упомянутых усилий прилагается еще одно, имеющее целью увеличить связь казенника с остальной частью

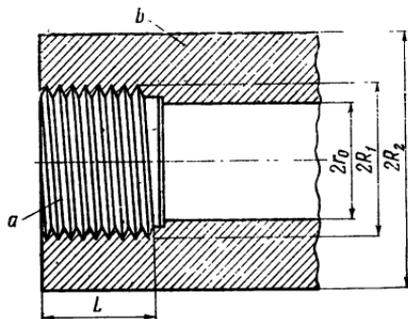


Рис. 9

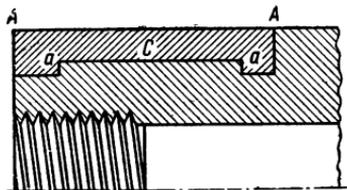


Рис. 10

ствола. Для этой цели предполагается, что на казенную часть ствола надето широкое стальное кольцо AA (рис. 10), по окружности которого на внутренней его поверхности выточен неглубокий жёлоб aa , а соответственно этому жёлобу на наружной поверхности ствола — кольцеобразный выступ. Выступ шире жёлоба aa настолько, чтобы кольцо AA в нагретом состоянии можно было надеть на ствол, а после охлаждения, когда жёлоб будет охватывать соответствующий выступ, оно притянуло бы казенную часть к остальной части ствола.

Для теоретических исследований Гадолин пользуется общими уравнениями упругого равновесия твердого изотропного тела в полуполярных координатах. Для упрощения выводов он полагает, что во время выстрела ствол остается неподвижным и в направлении своей оси не перемещается. В результате этих исследований им были получены следующие окончательные формулы:

$$P_0 = \frac{2R_1^2 L^2}{r_0^2 (R_2^2 - R_1^2)} \sigma_e \times \\ \times \left[\sqrt{1 + \frac{(R_2^2 - R_1^2)^2}{R_1^2 L^2} + \frac{2R_2^2 (R_2^2 - R_1^2)}{R_1^2 L^2} \frac{Q}{\sigma_e}} - 1 \right]. \quad (32)$$

Решая относительно σ_e , получим:

$$\sigma_e = \frac{P_0 r_0^2}{R_2^2 - R_1^2} \left\{ \frac{1}{2} - \frac{R_2^2 Q}{P_0 r_0^2} + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \sqrt{\left(1 - \frac{2R_2^2 Q}{P_0 r_0^2}\right)^2 + \left(\frac{R_2^2 - R_1^2}{R_1 L}\right)^2} \right\}. \quad (32a)$$

Если стягивающего кольца нет, то эти формулы принимают следующий вид:

$$P_0 = \frac{2R_1^2 L^2}{r_0^2 (R_2^2 - R_1^2)} \sigma_e \left[\sqrt{1 + \frac{(R_2^2 - R_1^2)^2}{R_1^2 L^2}} - 1 \right], \quad (33)$$

$$\sigma_e = \frac{P_0 r_0^2}{R_2^2 - R_1^2} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{(R_2^2 - R_1^2)^2}{R_1^2 L^2}} \right], \quad (33a)$$

где P_0 — давление пороховых газов на винт;
 σ_e — предел упругости металла ствола;
 r_0 — радиус поршня или винта;

R_1 и R_2 — внутренний и наружные радиусы ствола в поршневом гнезде;

Q — усилие, которым кольцо AA стягивает казенную часть ствола;

L — длина нарезной части поршня.

Приведенные формулы дают возможность определить наибольшие напряжения в казенной части ствола во время выстрела, а по ним — необходимый предел упругости металла ствола. При известном пределе упругости эти формулы позволяют установить то предельное максимальное давление, которое может быть допущено в канале ствола во время выстрела.

Уравнение (33а) показывает, что напряжение уменьшается при увеличении площади поперечного сечения, а при одной и той же площади поперечного сечения возрастает, если уменьшается длина поршня (винта). Все эти формулы носят название формул Гадолина и до последнего времени приводятся почти во всех основных руководствах по проектированию орудийных стволов.

К рассматриваемой работе приложены три дополнения. Первое содержит математическое определение размеров скрепляющего кольца AA , нагоняемого на казенную часть ствола. Во втором дополнении показано, как теоретически установить положение поверхности, по которой должна отрываться казенная часть ствола. Третье дополнение содержит данные о результатах испытаний упомянутых выше 8-дюймовых орудий и представляет собой журнал Технического комитета ГАУ от 13 июля 1868 г. за № 164, к которому приложены рассмотренные теоретические исследования, расчеты по ним и практические предложения А. В. Гадолина об улучшении конструкции казенной части упомянутых пушек.

В заключении редакции «Артиллерийского журнала» указывается на значение работ Гадолина для совершенствования конструкции артиллерийских орудий того времени. Здесь же говорится о результатах испытаний: «Вскоре после неудачного испытания первой опытной 8-дюймовой стальной, скрепленной стальными кольцами пушки № 616, изготовленной на Пермском заводе, завод приступил к изготовлению второго экземпляра № 617 подобного же орудия. При устройстве пушки № 617 были сделаны в конструкции ствола те изменения, которые необходимы, согласно указаниям генерал-майора Гадолина.

...Результаты испытания 8-дюймовой пушки № 617 были блистательны; она выдержала 3 выстрела зарядом в 25 фунтов, 953 выстрела зарядом в 31 фунт, 35 выстрелов зарядом в 33 фунта, 5 выстрелов зарядом в 35 фунтков, 36 выстрелов зарядом в 37 фунтов и т. д. Всего орудие выдержало 1105 выстрелов большими зарядами, при обыкновенном весе 8-дюймового снаряда 192 фунта.

Наконец, был взят заряд в 40 фунтов артиллерийского пороха, как наибольший, который мог только поместиться в камеру орудия, и был сделан 1 выстрел. При этом усиленном заряде внутренняя стальная труба ствола лопнула поперек, но казенная часть не оторвалась. Даже после 12 выстрелов, произведенных потом зарядом в 33 фунта призматического пороха, когда замок (запирающий винт) орудия наконец так засел, что его нельзя было открыть, казенная часть оставалась на месте».

Работы А. В. Гадолина в то время были рассмотрены специальной комиссией в составе Н. В. Маиевского, Н. С. Будаева и Л. Л. Кирпичева. После подробного изложения содержания и анализа работ комиссия в своем журнале отметила: «... при совершенном отсутствии, не только у нас, но, сколько известно комиссии, и в Западной Европе примеров применения общих начал теории упругости к артиллерии статьи генерала Гадолина вообще открывают собою новый и притом весьма важный отдел научной артиллерийской литературы... На основании вышеизложенного комиссия пришла к единодушному заключению, что исследование генерала Гадолина по части сопротивления орудий отрыванию казенной части представляют труд оригинальный, весьма полезный для артиллерийской техники и весьма важный в отношении к развитию артиллерии как науки».

Не только в русской артиллерии, но и за рубежом нашли применение эти труды. Так, например, во Франции инженер фирмы «Шнейдер и К^о» П. Лоран¹, пользуясь решением Гадолина и отчасти дополнив его, вывел свои формулы, дающие несколько завышенные результаты.

Работы Гадолина в известной мере использовались при проектировании орудий советской артиллерии².

¹ P. L a u r e n t. Deculassement des bouches a feu. Paris, 1876.

² См.: Э. К. Л а р м а н. Проектирование и производство артиллерийских систем, ч. 1. М., Воениздат, 1949, стр. 328—329.

Участие в проектировании и производстве артиллерийских орудий

Деятельность академика А. В. Гадолина не ограничивалась только разработкой теоретических основ прочностных расчетов орудийных стволов и рациональной конструкции последних, но выражалась и в непосредственном участии его в проектировании и производстве артиллерийских орудий. Ближайшим помощником А. В. Гадолина был В. И. Семашко, заслуги которого, к сожалению, почти не отражены в истории отечественной артиллерийской науки и техники. Вместе с ним Гадолин на практике осуществлял и проверял разработанные им теоретические положения.

В начале 1862 г. Аксель Вильгельмович сконструировал 24-фунтовую пушку, скрепленную кольцами. «Представленный при сем чертеж 24-фунтовой пушки, — записано в журнале Временного артиллерийского комитета, — спроектирован полковником Гадолиным на основании его работ по сопротивлению внутреннему давлению скрепленных орудий. Пушка эта предназначается для употребления, как нарезная для дальнего бросания»¹.

Осенью 1863 г. под руководством А. В. Гадолина и В. И. Семашко начались опыты над чугунными орудиями, скрепленными стальными кольцами. Испытания показали значительное превосходство скрепленных стволов над нескрепленными. На основании этих опытов сто трехпудовых бомбовых орудий были переделаны в $10\frac{3}{4}$ -дюймовые нарезные, скрепленные кольцами пушки.

А. В. Гадолин рассчитал сопротивление орудийных стволов, скрепленных одним и двумя рядами колец, и разработал основания производства процесса скрепления. Он показал, что для точного расчета прочного сопротивления ствола необходимо иметь самые точные данные о механических характеристиках металла. С этой целью, как уже отмечалось выше, он сконструировал в 1865 г. специальный пресс для механических испытаний (см. рис. 7), который был установлен и успешно применялся в С.-Петербургском арсенале.

¹ ААИМ, фонд Временного артиллерийского комитета, оп. 41, д. 116, л. 112, 1862—1865 гг.

К этому же времени относится весьма оригинальная его работа «Теория устройства перемены рабочего движения на токарных и сверлильных станках», напечатанная впервые в «Известиях технологического института» за 1877 г.

Более точный расчет прочности орудийных стволов дал возможность установить предельно допустимый размер боевого заряда и максимальное давление пороховых газов в канале ствола во время выстрела.

Теория скрепления орудийных стволов обручами А. В. Гадолина была подтверждена и проверена обширными опытами производства скрепленных стволов. Специальная комиссия в составе профессора Вышнеградского, полковника Беляева и поручика Каминского отметила, что эта теория разработана «весьма обстоятельным образом и представляется единственной, которой возможно руководствоваться для того, чтобы получить рациональным образом приближающиеся величины сопротивления орудий, скрепленных обручами»¹.

Положительная оценка практических работ Гадолина была дана в журнале Технического комитета Главного артиллерийского управления от 23 октября 1867 г. за № 293.

Успехи в деле скрепления стволов в русской артиллерии благодаря работам Гадолина оказали существенное влияние на развитие скрепленных стволов за границей. «Даже Крупп,— писал по этому поводу «Артиллерийский журнал»,—самый сильный приверженец цельных металлических орудий, скрепляет их теперь кольцами из литой стали»². Лишь США, Англия и Япония прибегли к менее совершенному способу скрепления стволов при помощи обвивки трубы проволокой.

Следует заметить, что идею скрепления стволов проволокой необоснованно приписывают англичанину Лонгриджу, который выдвинул ее в 1860 г. У нас в России еще в 1799 г. полковник Иван Иванович Дибич изготовил ствол для горной пушки, скрепленный проволокой. В течение нескольких лет Лонгридж неоднократно обращался к английским фирмам с просьбой об изготовлении и испытании ствола его конструкции, но ни одна из них не бралась за скрепление ствола проволокой, считая эту операцию слиш-

¹ «Артиллерийский журнал», 1893, № 11, стр. 18—19.

² «Артиллерийский журнал», 1868, № 2, стр. 248.

ком сложной. Тогда Лонгридж обратился за помощью к Обуховскому заводу в С.-Петербурге, где и был изготовлен ствол его конструкции для 6-дюймовой пушки, который явился родоначальником подобного рода стволов для многих сотен английских и американских артиллерийских орудий.

В русской артиллерии стволы, скрепленные проволокой, не применялись. Опыты В. И. Семашко начиная с 1869 г. по скреплению стволов прутковым железом и проволокой, частично проводившиеся совместно с Гадолиным, убедили, что способ скрепления стволов кольцами и цилиндрами является наиболее рациональным. Россия без особых трудностей наладила производство нарезных орудий, стволы которых скреплялись названным способом.

Научное значение трудов академика

А. В. Гадолина

При рассмотрении работ Акселя Вильгельмовича Гадолина выше не раз отмечалось их большое значение для дальнейшего совершенствования артиллерийских орудий. Опираясь на эти труды, выдающиеся конструкторы, в ряду которых первое место, бесспорно, принадлежит другу и соратнику Гадолина — Н. В. Маиевскому, разработали для русской артиллерии орудия системы 1867 и 1887 гг. «...Теоретическая сторона вопроса о скреплении артиллерийских орудий, — писал в 1893 г. «Артиллерийский журнал», — разработана у нас лучше, чем где-нибудь, и в этом отношении мы не только не нуждаемся теперь в чужой помощи, но даже учим других...»¹

Хотя рассмотренные нами работы Гадолина имели узкоспециальные названия, они, как отмечалось, содержали наряду со специфическими для артиллерийской науки и техники вопросами изложение целого ряда новых для того времени вопросов теории упругости. Так, например, в этих работах впервые достаточно подробно были исследованы напряжения и деформации в цилиндрических трубах, как в простых, так и в скрепленных. В этой связи вызывает удивление, что имя А. В. Гадолина не нашло места в труде С. П. Тимошенко «История науки о сопротивлении материалов». На наш взгляд, оно должно было стоять рядом с

¹ «Артиллерийский журнал», 1893, № 11, стр. 1123.

именами Мигеля и Винклера, которые произвели почти аналогичные работы, но несколько позже, чем Гадолин. Отмеченное обстоятельство тем более странно, что сам Винклер ссылается на работы А. В. Гадолина¹.

Теория проектирования орудийных стволов, разработанная Гадолиным, нашла отражение в целом ряде трудов других зарубежных ученых² (заметим, что так называемые формулы Виржиля, встречающиеся в наших отечественных учебниках по проектированию орудийных стволов, явно получаются из формул, выведенных в первой работе Гадолина).

В отечественной артиллерийской литературе работы академика А. В. Гадолина использовались очень широко. Первым наиболее полным трудом по проектированию орудийных стволов была книга профессора Артиллерийской академии А. Бринка³, она написана преимущественно на основании работ А. В. Гадолина. Приведенные в ней формулы для расчета стволов различной конструкции на прочность получены автором в результате применения общих формул Гадолина для частных случаев расчета стволов по теории максимальных напряжений (тангенциальной силе) и по теории максимальных деформаций. Для скрепленных стволов эти формулы приведены к общему случаю, когда ствол состоит из n слоев. Следует заметить, что Гадолин свою работу «Теория орудий, скрепленных обрусками» в свое время обобщил на произвольное число слоев. К сожалению, она не была напечатана.

¹ E. W i n k l e r. Festigkeit, Dampfkessel und Schwungringe. — «Der Civilingenieur», 1860, Bd. IV, S. 326, 427.

² K. F r e i z e l. Beitrag zur Theorie der künstlichen Metallkonstruktionen. — «Archiv für Offiziere der preussischen Artillerie und Ingenieur Korps», 1865, Bd. 57, S. 269; M. V i r g i l l e. Etude sur la résistance des tubes métalliques simples ou composés avec applications à la construction des bouches à feu, 1874; G. C l a v e r i n o. Della resistenza dei cilindri cavi, semplici e composti con applicazione alla resistenza delle boche da fuoco. — «Giornale di Artiglieria», 1876, N 2, 3, 5; G. K a i s e r. Theorie der Elasticität röhrenförmiger Körper. — «Mitteilungen über Gegenstände der Artillerie und Genie-Wissens», 1876, N 7, 9; J. L o n g r i d. A treatise on the application of wire to the construction of ordnance. Paris, 1884; Ch. D u g e t e t. Deformations des corps solides. Limite d'élasticité et résistance à la rupture, t. II. 1885, p. 147—221; G. M o s c h. Des canons à fils d'acier. — «Revue d'Artillerie», 1886—1887, № 1—6.

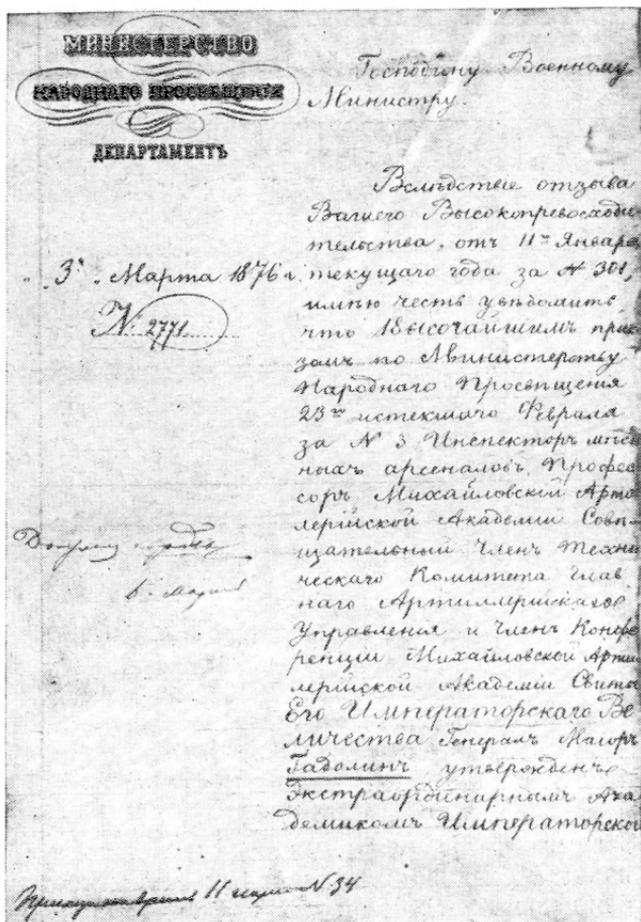
³ А. Б р и н к. Проектирование артиллерийских орудий, ч. 1. Сопротивление цилиндров и конусов продольному разрыву. СПб., 1901.



А. В. ГАДОЛИН
в чине генерал-лейтенанта

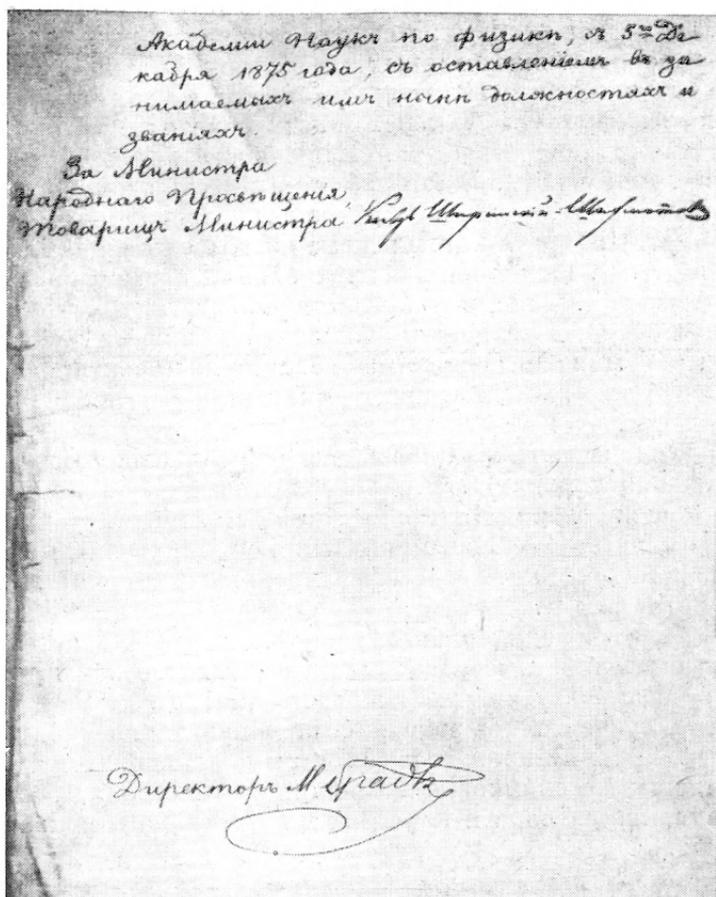
Заслуга проф. А. Бринка заключалась в том, что он произвел исследования отдельных зависимостей и тем самым облегчил рациональный выбор тех элементов конструкции ствола, от которых зависит прочностное сопротивление последнего. Вопросы натяжения при скреплении стволов и влияния колебательного движения стенок орудийного ствола на его прочность были исследованы В. А. Пашкевичем, также опиравшимся на труды Гадолина¹.

¹ В. А. П а ш к е в и ч. О сопротивлении орудий, составленных из двух слоев, надетых один на другой произвольным натяжением. — «Артиллерийский журнал», 1876, № 1, стр. 35—58; № 3, стр. 271—296; о н ж е. Интегрирование уравнения колебательного движения стенок артиллерийского орудия, подвергнутого удару пороховых газов. СПб., 1910; о н ж е. Применение способа Эйлера к определению амплитуды колебательного движения цилиндра. — «Артиллерийский журнал», 1912, № 1, 2, 3.



Автограф письма Министерства народного просвещения воен-

Изучением влияния колебательного движения стенок ствола на его прочность занимались и известные советские ученые. Так, например, академик Алексей Николаевич Крылов проводил исследования продольного колебания орудийных стволов, профессор Артиллерийской академии С. Г. Петрович — радиальных колебаний стенок ствола артиллерийского орудия.



ному министру об утверждении А. В. Гадолина академиком

Первым советским учебником и руководством по проектированию орудийных стволов для артиллеристов Красной Армии явилась книга заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, профессора, генерал-полковника артиллерии Николая Федоровича Дроздова, состоящая из трех частей. В первой части в основном изложены те же вопросы, что и в издании проф. А. Бринка, но в несколько

более развернутом виде. Для расчета орудийных стволов Н. Ф. Дроздов принял за основу вторую теорию прочности — теорию максимальных деформаций. Кроме того, пользуясь общими формулами Гадолина, он разработал расчетные формулы для различных конструкций орудийных стволов по третьей теории прочности — теории скольжения, или сдвига. В этой же части весьма подробно изложена теория орудий, скрепленных проволокой.

Во второй части книги весьма обстоятельно излагалась теория А. В. Гадолина о сопротивлении отрыву казенной части ствола, дополненная методикой расчета отдельных элементов конструкции клиновых и поршневых затворов. Здесь же были даны основные указания по проектированию и устройству канала ствола — как каморы, так и нарезной части.

Третья часть посвящалась рассмотрению вопросов автофретажа, которыми Н. Ф. Дроздов первый начал заниматься в нашей стране. Применяя так называемый метод плотного прилегания слоев, принятый в работах Гадолина, он придал теории расчета автофретированных стволов весьма стройный вид¹.

В более поздних работах советских артиллеристов основные прочностные расчеты орудийных стволов продолжали базироваться на исследованиях А. В. Гадолина. Заново подвергались переработке лишь такие вопросы, как расчеты стволов со свободным лейнером, расчеты прочности казенников и казенной части ствола, расчеты механизмов затвора и нарезной части ствола и некоторые другие.

¹ Н. Ф. Д р о з д о в. Сопротивление артиллерийских орудий, ч. I—III. Л., 1933—1935.

Заклучение

Наличие научно разработанной Н. В. Маиевским баллистики нарезных орудий, теории проектирования орудий, созданной А. В. Гадолиным, и налаженное производство высококачественной орудийной стали благодаря талантливым работам русских металлургов и металлургов К. Д. Чернова, И. М. Обухова, Н. В. Калакуцкого и целого ряда других дали возможность России еще во второй половине XIX в. стать на самостоятельный путь конструирования и изготовления стальных нарезных артиллерийских орудий, по своим боевым качествам превосходивших аналогичные орудия заграничных армий. Однако вследствие слабо развитой военной промышленности изготовление их встречало большие трудности. Все эти трудности усугублялись политикой Александра II и придворных кругов, преклонением их перед иностранным, игнорированием творческих сил русского народа. Придворная камарилья вмешивалась в дела военного министерства и тормозила перевооружение русской армии. Несмотря на то что в составе этого министерства имелись энергично действующие люди, план перевооружения русской армии не мог быть реализован.

Весьма наглядно это нелепое положение обрисовано в публичной лекции «О скрепленных орудиях», прочитанной 9 марта 1868 г. в аудитории Михайловской артиллерийской академии поручиком Львом Кирпичевым. О 9-дюймовой пушке говорится: «...эта наша пушка, она выдержала 700 выстрелов при заряде, развивающем давление, превосходящее 4000 атмосфер. Мы имеем право называть ее нашей пушкой потому, что теория устройства подобных пушек дана русским профессором артиллерии Гадолиным А. В., а чертеж пушки составлен русским профессором

баллистики Маиевским Н. В. Нельзя, впрочем, при этом умолчать о том обстоятельстве, что, к сожалению, мы не можем готовить таких орудий у себя дома и по необходимости должны заказывать их за границей».

Такое положение сохранялось в царской России вплоть до Великой Октябрьской социалистической революции. В Советской Армии сформировалась новая школа отечественных конструкторов артиллерийских орудий, которая в своих научных изысканиях опиралась на теории, разработанные передовыми отечественными учеными.

Из краткого обзора деятельности Акселя Вильгельмовича Гадолина видно, что он был ученым широкого кругозора. Всю свою жизнь он посвятил разработке не только вопросов проектирования и производства артиллерийских орудий, но также кристаллографии и ряда других областей знания, прославив своими трудами отечественную науку. Его исследования в известной мере использовались при подготовке советских артиллеристов и создании мощных артиллерийских орудий Советской Армии. Советские люди всегда будут помнить выдающегося отечественного ученого-артиллериста Акселя Вильгельмовича Гадолина.

Основные даты ¹ жизни и деятельности А. В. Гадолина

1828. Родился 12 июня в Финляндии.
1847. Окончил Финляндский кадетский корпус.
1847. Получил первое офицерское звание 15 августа.
1848. Окончил Михайловскую артиллерийскую академию и назначен репетитором физики Михайловского артиллерийского училища.
1854. Утвержден учителем 3-го разряда по физике и назначен на должность репетитора Михайловской артиллерийской академии.
1856. Назначен заведующим Техническим артиллерийским училищем.
- Назначен инспектором классов Михайловской артиллерийской академии.
- Получил звание профессора Михайловской артиллерийской академии.
1865. За работы в области проектирования стволов артиллерийских орудий присуждена малая Михайловская премия.
1866. Присуждена большая Михайловская премия.
1867. Назначен членом Артиллерийского комитета и инспектором местных arsenалов.
1875. Избран действительным членом императорской Академии наук.
1876. Присвоено звание генерал-лейтенанта артиллерии.
1892. Скончался 15 декабря, похоронен в Гельсингфорсе.

¹ Все календарные даты приведены по старому стилю.

Труды А. В. Гадолина ¹

1. Курс механической теории теплорода. СПб., 1856.
2. Записки физики. Младшего офицерского класса Михайловской артиллерийской академии. СПб., 1857 (литографированное).
3. Записки физики. Теоретического отделения Михайловской артиллерийской академии, ч. 2. СПб., 1857 (литографированное).
4. Основания кристаллографии. СПб., 1857.
Курс кристаллографии для Михайловской артиллерийской академии.
5. Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала*. — «Записки Императорского русского Минералогического общества». СПб., 1858, т. IV.
6. О сопротивлении стен орудия давлению пороховых газов при выстреле*. — «Артиллерийский журнал», 1858, № 3, стр. 28—75.
7. Прибор капитана Родмана для измерения давлений пороховых газов на стенки орудия. — «Артиллерийский журнал», 1861, № 11, стр. 907—973.
8. Теория орудий, скрепленных обручами*. — «Артиллерийский журнал», 1861, № 12, стр. 1033—1071.
9. О новых усовершенствованных по литью чугунных орудий в Америке. — «Артиллерийский журнал», 1862, № 6, стр. 499—581.
10. Определение посредством особо построенного для этого прибора сопротивления сдвигу некоторых сплавов с целью определения состава наилучшего для выстрелов снаряда — «Карманная справочная книжка для артиллерийских офицеров», ч. 2. СПб., 1863.
11. Приготовление пороха. СПб., 1864.
Руководство для изучения пороходелия. Содержит теоретические основы производства пороха, сравнительный обзор пороходелия в различных странах Европы способы испытания порохов и правила обращения с ними, устройство пороховых заводов.
12. Курс артиллерийской технологии, ч. 1—2. СПб., 1865.
Первый учебник по артиллерийской технологии для Артиллерийской академии. В первой части рассматриваются об-

¹ Звездочкой отмечены те труды, которые использованы при написании настоящей работы.

щие вопросы технологии: свойства дерева и древесного угля, применяемых в качестве горючих материалов; вопросы движения газа в печах; материалы для сооружения печей; устройство воздуходувных машин и процессы горячего дутья. Вопросы строения древесины, причины и характер ее порчи, механические свойства дерева и методы его механической обработки на русском языке излагаются здесь впервые.

Вторая часть содержит описание свойств и способов добывания железных и медных руд, а также способов выплавки чугуна, железа и меди.

13. О запирающих механизмах для орудия, запирающихся с казенной части — клином, закругленным с задней стороны полукцилиндрически*. — «Артиллерийский журнал», 1866, № 9, стр. 390—409.
14. О сопротивлении орудий отрыванию казенной части при употреблении для запирания казны механизма Трель де Больше*. — «Артиллерийский журнал», 1869, № 2, стр. 241—259.
15. Подвижная звезда Витворта. — «Артиллерийский журнал», 1869, № 4, стр. 591—597.
16. Теория устройства перемены рабочего движения на токарных и сверлильных станках. — «Известия технологического института», 1877.
17. Кристаллография. СПб., 1880.
18. Формовка. Лекции, читанные в С.-Петербургском практическом технологическом институте. СПб., 1880.
19. Механическая обработка металлов. СПб., 1885 (с приложением альбома чертежей).

Курс лекций по артиллерийской технологии для офицеров Артиллерийской академии. Рассматриваются следующие вопросы: различные способы механической обработки чугуна и стали, технологияковки, протягивания, формовки, сварки и изготовления режущего инструмента.

20. Механическая технология, ч. 1. Обработка тел сниманием частиц с поверхности. СПб., 1885.
21. Определение предельных условий, происходящих в шrapнелях во время действия на них пороховых газов при стрельбе*. СПб., 1887.
22. Механическая технология, ч. 1. Обработка тел сниманием частиц с поверхности. Лекции, читанные в С.-Петербургском практическом технологическом институте. СПб., 1888—1889.
23. Механическая технология. Чертежи. СПб., 1889.
24. О законе изменяемости ветра. Читано в заседании физико-математического отделения 7 ноября 1889 г. СПб., 1890 (Приложение к 52-му тому «Записок» Академии наук)

Опубликована по распоряжению Академии наук. Для написания работы автор использовал данные ежечасных измерений скорости и направления ветра, производившихся в течение более 20 лет с помощью самопишущих анемометров в Петербургской главной физической лаборатории. Из этих данных выведен закон распределения погрешностей отдельных наблюдений, получаемых при многократных повторных измерениях какой-либо величины. Далее в работе исследована изменяемость ветров с помощью этого закона.

25. Отчет о поездке на Уральские горные заводы в течение лета 1891 года. СПб., 1891 (совместно с А. Якимовичем).
26. Beobachtung über einige Mineralien aus Putkeranta in Finland.— «Verhandlungen der Russischen Kaiserlichen Mineralogischen Gesellschaft». S. Pb., 1855.
Исследование некоторых минералов из Питкеранты в Финляндии. Описываются редкие формы гранита, серого колчедана и оловянного камня. Излагаются опыты автора над действием кристаллообразовательной силы на заметные расстояния через слой постоянного вещества.
27. Geognostische Beschreibung der Insel Pusu.— «Verhandlungen der Russischen Kaiserlichen Mineralogischen Gesellschaft». S. Pb., 1855.
Геологическое описание напластования и состава горных пород острова Пусу.
28. Geognostische Skizze der Umgebungen von Kronoborg und Tevrus.— «Verhandlungen der Russischen Kaiserlichen Mineralogischen Gesellschaft». S. Pb., 1857.
Геологические очерки окрестностей Кренеборга и Тевруса. Описаны напластования и состав горных пород этих местностей, приведена геологическая карта района.
29. Geognostische Beobachtung an den Küsten des Ladoga-See s. S. Pb., 1858.
Геологические наблюдения на побережье Ладожского озера.
30. Eine einfache Methode zur Bestimmungen der specifischen Gewichtes der Mineralien.— «Verhandlungen der Russischen Kaiserlichen Mineralogischen Gesellschaft», 1857; «Poggendorfs Annalen», 1859, CVX.
Простой метод определения удельного веса минералов.
31. De la resistance des parois des canons à la pression des gaz de la poudre dans le tir.— «Revue de technologie militaire». 1863, t. III.
32. Mémoire sur la resistance des parois des canons à la pression des gaz de la poudre suivi de la théorie des canonés cerclés. (Extrait du tome III de la «Revue de technologie militaire». Paris, 1863.
33. Théorie des canons cerclés.— «Revue de technologie militaire». 1863, t. III, p. 111—127.
34. Mémorial sur la deduction d'un seul principe des tous des systèmes cristallographiques.— «Acta Societatis Scientiarum Fennicae», 1871, t. IX.

Литература о А. В. Гадолине

- Благодеров А. А.* Артиллерийская наука и техника и Академия наук. Доклад на юбилейной сессии Академии наук СССР в июне 1945 г. — «Известия Академии наук СССР», отделение технических наук, 1945, № 4—5, стр. 364—365 и 368—369.
- Благодеров А. А.* Стодвадцатипятилетие Артиллерийской орденов Ленина и Суворова академии имени Ф. Э. Дзержинского. — «Артиллерийский журнал», 1945, № 12, стр. 1—7.
- «Гадолин А. В. 1828—1892. Указатель литературы». Составил В. М. Дивид. М., 1948 (Артиллерийская ордена Ленина и ордена Суворова академии имени Ф. Э. Дзержинского. Фундаментальная библиотека).
- «Гадолин Аксель Вильгельмович». — БСЭ, т. 14. М., 1929, стр. 204.
- «Гадолин Аксель Вильгельмович». — «Большая энциклопедия», под ред. С. Н. Южакова, т. 6. СПб., 1903, стр. 5—6.
- «Гадолин Аксель Вильгельмович». — «Военная энциклопедия», т. 7, 1912, стр. 137—138.
- «Гадолин Аксель Вильгельмович». — В сб. «Люди русской науки», т. II. М., 1948, стр. 923—930.
- Гойжевский Н.* Описание празднеств по случаю 50-летнего юбилея Артиллерийской академии и училища и стенографический отчет, читанный на акте полковником Демьяненковым о деятельности воспитанников академии и училища на пользу своего оружия. СПб., 1871, стр. 58.
- Головин А. Ф., Кондратьев А. Н.* Очерк развития металлургического образования в Артиллерийской академии. — «Известия Артиллерийской академии», 1941, т. XXXI, стр. 226—227.
- Грендал В.* Артиллерийская академия и ее задачи. — «Красная артиллерия», 1923, кн. 5, стр. 4—14.
- Гродский Г. Д.* Михайловское артиллерийское училище и академия в XIX столетии, ч. 1 (1820—1881). СПб., 1905, стр. 78—372.
- Данилевский В. В.* Очерки истории техники XVII—XIX вв. М. — Л., Соцэкгиз, 1934, стр. 317.
- Данилевский В. В.* Русская техника. Л., 1947, стр. 192—193, 418, 451.
- «Журнал комиссии, назначенной для разбора исследований генерал-майора Гадолина относительно скрепления орудий обручами». — «Артиллерийский журнал», 1867, № 6, стр. 1111—1123.
- «Каталог библиотеки Михайловской артиллерийской академии». СПб., 1906, стр. 333.

- Козловский Д. Е.* Выдающиеся артиллеристы второй половины XIX века.— «Известия Артиллерийской академии». Юбилейный выпуск, 1940, стр. 98—110.
- Комаров В. М. и Бурговиц А. Г.* Основоположник теории гидродинамического трения. М., 1952, стр. 35, 41—45, 198.
- Костылев П.* Артиллерийские орудия XIX века и их живучесть (из опыта прошлого). М.—Л., Военмориздат, 1940, стр. 7 и 60.
- Кужельков И. И.* Библиотека Академии.— «Известия Артиллерийской академии», 1941, т. XXXI. Сборник материалов по истории академии 1820—1940, стр. 113.
- Ларман Э. К.* Аксель Вильгельмович Гадолин (1828—1892).— «Известия Артиллерийской академии». Юбилейный выпуск, 1940, стр. 128—133.
- Мандрька А. П.* Николай Владимирович Маиевский. М., 1954, стр. 38, 39, 68, 110.
- «Михайловская артиллерийская академия и училище в годовщину их 75-летия». СПб., 1896, стр. 15, 27, 33, 35, 38, 52, 53.
- «Михайловская артиллерийская академия и училище в годовщину 500-летия русской артиллерии». СПб., 1889, стр. 33, 35, 38.
- «Михайловская артиллерийская академия и училище накануне их разделения». Памятная книжка. Издал в третий раз К. Гук. СПб., 1889, стр. 55, 82.
- Нилус А.* Исторический очерк последовательного развития наибольшего берегового калибра в России (1838—1888). СПб., 1889, стр. 27, 37.
- Нилус А.* История артиллерии, отд. 1-й. Курс старшего класса. СПб., литограф. Михайловского артиллерийского училища, 1908, стр. 276.
- Нилус А.* История материальной части артиллерии, т. 1. СПб., 1904.
- «Очерк преобразований в артиллерии в период правления генерал-адъютанта Баранцева». 1863—1877 СПб., 1877, стр. 110, 171.
- «Очерк преобразований в современной артиллерии», т. 1, период 1863—1877 гг. СПб., 1889, стр. 295.
- «Перечень занятий в заседаниях Артиллерийского комитета за январь месяц 1867 г. — «Артиллерийский журнал», 1867, № 5, стр. 331—335.
- Петров В. А.* Военная техника и Академия наук.— «Война и техника», 1925, № 234—235, стр. 57.
- Петров М. К.* Краткий очерк преподавания химических дисциплин до Октябрьской революции.— «Известия Артиллерийской академии», 1941, т. XXXI (Сборник материалов по истории Артиллерийской академии, 1820—1940), стр. 213.
- Платов А. и Кирпичев Л.* Исторический очерк образования и развития Артиллерийского училища, 1820—1870. СПб., 1870, стр. 155—370.
- Попов А.* Артиллерийская ордена Ленина академия Красной Армии имени Дзержинского. М., 1940, стр. 6, 26, 29, 32, 34.
- Попов А.* Из истории Артиллерийской академии.— «Артиллерийский журнал», 1940, № 12, стр. 69 и 71.
- «Приказ по артиллерии № 81 от 19 февраля 1870 г.».— «Артиллерийский журнал», 1870, № 4, стр. 286—296.
- Прочко И. С.* К столетию издания «Артиллерийского журнала».— «Артиллерийский журнал», 1945, № 5—6, стр. 42.

- Прочко И. С.* Могучая советская артиллерия. М., Воениздат, 1947, стр. 13.
- Прочко И. С.* Развитие артиллерии и ее боевого применения. М., 1940, стр. 202—203.
- Сборник документов, относящихся к празднованию пятидесятилетия Михайловской артиллерийской академии и училища. СПб., 1871, стр. 14, 22—23, 52, 64—66, 75, 132, 148, 153—155, 158, 180—181, 184, 186.
- Сивков А.* К 550-летию русской огнестрельной артиллерии.— «Известия Артиллерийской академии», 1940. Юбилейный выпуск (1389—1939), стр. 20.
- Сивков А.* Славное 120-летие Артиллерийской академии.— «Артиллерийский журнал», 1940, № 12, стр. 5.
- Сивков А. К.* 120 лет Артиллерийской академии (Доклад на Юбилейной конференции Артиллерийской ордена Ленина академии имени Дзержинского 6 декабря 1940 г.).— «Известия Артиллерийской академии», 1941, т. XXXI (Сборник материалов по истории академии), стр. 4.
- «Советская военная энциклопедия», т. 1 (Артиллерия). М., ОГИЗ 1932, стр. 747.
- «Списки бывших воспитанников Михайловской артиллерийской академии, Михайловского и Константиновского артиллерийских училищ, с 1820—1906 гг.» СПб., 1906, стр. 14.
- Темкин С. и Забаринский П.* Выдающиеся русские артиллеристы, ученые и изобретатели.— «Артиллерийский журнал», 1939, № 10, стр. 52—53.
- Темкин С. и Забаринский П.* Историческая справка из истории русской артиллерии.— «Артиллерийский журнал», 1939, № 1, стр. 68.
- Тишунин И. В. и Хазанов И. М.* История развития порохов в России.— «Известия Артиллерийской академии», 1940. Юбилейный выпуск (1839—1939), стр. 92.
- Хохлов В. И.* Сто сорок лет существования Артиллерийского комитета Главного артиллерийского управления.— «Артиллерийский журнал», 1944, № 2—3, стр. 11.
- Черняк А. Я., Нахимов Д. М.* Русский ученый металлург Н. В. Калакуцкий. М., 1951, стр. 46, 47, 55, 132.
- Шейдеман Ю.* На рубеже XX века.— В сб. «Артиллеристы». М., 1939, стр. 66—80.
- «Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона», т. 6, 1892, стр. 781—782.
- «Энциклопедический словарь Гранат», т. 12, изд. 7, стр. 279—280.
- Якимович А.* Аксель Вильгельмович Гадолин. Некролог.— «Артиллерийский журнал», 1893, № 12, стр. 1—26.

Оглавление

Предисловие	5
<i>Глава первая</i>	
ОБЩИЙ ОЧЕРК ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	9
Юнкер Михайловского артиллерийского училища	9
Учебно-педагогическая деятельность	16
Работа в Артиллерийском комитете	22
Инспектор местных арсеналов	30
Участие в Русском техническом обществе	32
<i>Глава вторая</i>	
НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ	34
Труды по разработке теории проектирования нескреплен- ных орудийных стволов	34
Теория скрепленных орудийных стволов	48
Исследования сопротивления отрыву казенной части ствола	55
Участие в проектировании и производстве артиллерийских орудий	63
Научное значение трудов академика А. В. Гадолина	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	71
ПРИЛОЖЕНИЯ:	
1. Основные даты жизни и деятельности А. В. Гадолина	73
2. Труды А. В. Гадолина	74
3. Литература о А. В. Гадолине	77

Эмиль Карлович Ларман

Аксель Вильгельмович Гадолин

*Утверждено к печати редколлегией
научно-биографической серии Академии наук СССР*

Редактор *В. И. Алексеев* Технический редактор *В. В. Тарасова*

Сдано в набор 9/IV 1969 г. Подписано к печати 25/IX-1969 г. Формат 84×108¹/₃₂.
Бумага № 1 Усл. печ. л. 4,2+вкл.0,1. Уч.-изд. л. 3,8 Тираж 3700 экз. Т-13637
Тип. зак. 2146. Цена 24 коп.

Издательство «Наука», Москва К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография и издательства «Наука», Москва Г-99, Шубинский пер., 10



АКСЕЛЬ Вильгельмович
ГАДОЛИН

24 коп.



ИЗДАТЕЛЬСТВО
· Н А У К А ·